

Р 2
5 445

АЛЕКСАНДРЪ НИКОЛАЕВИЧЪ НИКОЛАЕВЪ.

НАЧАЛЬНАЯ ФИЗИКА

ВЪ ОБЪЕМѢ ГИМНАЗИЧЕСКАГО ПРЕПОДАВАНІЯ.

Н. ЛЮБИМОВА.

ПРОФЕССОРА МОСКОВСКАГО УНИВЕРСИТЕТА.

СЪ 720-Ю ПОЛИТИПАЗАМИ ВЪ ТЕКСТѢ, ЗАДАЧАМИ, РИСУНКАМИ И ВОПРОСАМИ ДЛЯ УПРАЖНЕНІЙ.



МОСКВА.

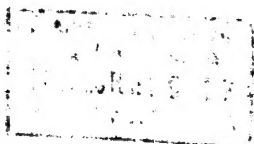
Въ Университетской типографіи Катковъ и К^о),
на Страстномъ бульварѣ.

1873.

КУРСЪ НАЧАЛЬНОЙ

Ф И З И К И

НА ИСТОРИЧЕСКОМЪ ОСНОВАНИИ.



51876-48

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Wherever it is possible knowledge should be insinuated into the mind of another in the manner in which it was first discovered.

Васон.

Гдѣ только возможно, знаніе должно быть вѣдряемо въ умъ другаго тѣмъ самымъ путемъ какимъ оно впервые открыто.

Беконъ.

Предлагаемый учебникъ имѣетъ особенность, на которую считаю не лишнимъ указать. Приведенный эпиграфъ даетъ о ней понятіе. При изложеніи всѣхъ важнѣйшихъ положеній науки я старался уловить нить идей изобрѣтателей, и гдѣ только представлялась возможность говорилъ ихъ собственными словами. Такое введеніе въ учебное руководство историческаго элемента въ тѣсномъ сліяніи съ элементомъ догматическимъ, безъ ущерба для послѣдняго, но въ оживленіе и поясненіе, казалось мнѣ весьма полезнымъ по отношенію къ предмету который есть представитель естествознанія въ ряду наукъ введенныхъ въ кругъ общаго образованія и отъ преподаванія котораго можно желать не только сообщенія полезныхъ фактическихъ свѣдѣній, но и вклада

въ духовное развитіе учащагося. Духъ естествознанія есть по преимуществу духъ изысканія и открытія. Истинная школа логики открытіи заключается въ ихъ философской исторіи, въ раскрытіи тѣхъ путей какими достигнуты великія приобрѣтенія въ области изученія природы. Съ другой стороны, сліяніе историческаго и догматическаго элементовъ, опытъ котораго желалъ я дать въ настоящемъ сочиненіи, кажется мнѣ полезнымъ и собственно въ педагогическомъ отношеніи. Процессъ перваго изученія, какимъ учащійся входитъ въ новый для него міръ, имѣетъ сходство съ процессомъ самого открытія, первый актъ котораго есть рожденіе мысли внезапно освѣщающей и раздѣляющей то что представлялось темнымъ и слитнымъ. Первая трудность при усвоеніи изучаемаго предмета заключается въ томъ чтобы представить его себѣ съ надлежащею ясностію, съ различеніемъ существеннаго отъ того что облекаетъ и сопровождаетъ оное. На этихъ первыхъ шагахъ главное вниманіе должно быть обращено не столько на строгость доказательства, и подробности оправданія даннаго положенія науки, сколько на уясненіе его сущности. Изложеніе по первымъ источникамъ казалось мнѣ особенно способнымъ для достиженія этой цѣли. Въ умѣ изобрѣтателя найденное имъ положеніе науки, хотя бы въ формѣ только плодотворной догадки, представляется съ особою ясностію, отражающеюся на изложеніи. Повторяя мысль изобрѣтателя,

учащійся проходить путь испытанный и дѣйствительно ведущій къ цѣли. Какая надобность перефразировать то что выражено изобрѣтателемъ съ удареніемъ на существенномъ, съ особымъ интересомъ къ излагаемому, съ привлекательною оригинальнію формы, — перефразировать подвергаясь опасности удалиться отъ подлинной мысли. Не говоримъ уже о столь обыкновенной въ учебныхъ руководствахъ перефразировкѣ изъ третьихъ рукъ.

Курсъ раздѣленъ нами на пять отдѣловъ: *механическая часть, звукъ, тепло и свѣтъ, магнетизмъ и электричество, общая физика*. Въ отдѣлъ общей физики мы отнесли изложеніе механическихъ началъ ученія о природѣ болѣе отчетливое чѣмъ какое возможно при началѣ курса. Въ третьемъ отдѣлѣ, принимая въ соображеніе тождество явлений, мы не отдѣляли ученія о лучахъ теплоты отъ ученія о лучахъ свѣта. Къ концу книги приложено сжатое изложеніе главнѣйшихъ положеній курса, которое, полагаю, будетъ существенно полезно при повтореніи пройденнаго. За такимъ репетиторіумомъ слѣдуетъ рядъ вопросовъ, касающихся пунктовъ на которые я желалъ обратить вниманіе преподавателей. Значительная часть этихъ вопросовъ можетъ служить темою для упражненій учащихся.

Не указываю разсѣянныхъ въ курсѣ особенностей при изложеніи частныхъ. Свѣдущими онѣ будутъ замѣчены.

ОТДѢЛЪ ПЕРВЫЙ .

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ФИЗИКИ.

I. Ученіе о тяжести.

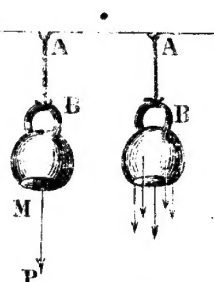
§ 1. Паденіе и вѣсъ тѣла какъ слѣдствіе дѣйствія силы тяжести.—Камень ничѣмъ неподдерживаемый падаетъ на землю. Если мы держимъ его въ рукѣ или помѣстимъ на столѣ, то онъ производитъ на руку или на столъ давленіе, называемое *вѣсомъ*. Очевидно что два эти явленія находятся въ ближайшей связи между собою: камень падаетъ отъ того что имѣетъ вѣсъ, и производитъ давленіе отъ того что стремится упасть. Явленія эти такъ обыкновенны и паденіе представляется такимъ общимъ и первоначальнымъ свойствомъ окружающихъ насъ тѣлъ, что потребно усиліе ума дабы отдѣлить мысленно этотъ признакъ отъ остальныхъ свойствъ тѣла, отвлеченно представить себѣ тѣло не имѣющимъ вѣса и разсматривать *вѣсъ* какъ слѣдствіе дѣйствія на тѣло нѣкоторой особой причины. Но не трудно убѣдиться что такая причина дѣйствительно есть. Представимъ себѣ камень лежащій въ комнатѣ, въ углу гдѣ стѣна пересѣкается съ поломъ, и пусть этотъ камень касается и стѣны и пола. Касаясь стѣны, онъ не производитъ на нее никакого давленія и остался бы попрежнему въ покоѣ, еслибы ее не было. Для произведенія давленія на стѣну мы должны прижать камень чѣмъ-нибудь къ ней, на примѣръ усиліемъ руки. Но на полъ камень самъ собою

производить давленіе дѣйствующее сверху внизъ. Заключаемъ что по направленію внизу камень испытываетъ невидимое дѣйствіе, объясняющее его давленіе на полъ, подобно тому какъ усиліе руки прижимающее камень объясняетъ его давленіе на стѣну. Если бы этого невидимаго дѣйствія не было, тѣло не имѣло бы вѣса, и тогда не было бы нужно его поддерживать, чтобъ оно не упало: камень остался бы въ воздухѣ въ томъ мѣстѣ гдѣ мы его помѣстили. Дѣйствіе это можетъ быть больше или меньше, смотря по тому гдѣ находится тѣло. Вѣсъ камня не одинаковъ на горѣ, на различныхъ мѣстахъ земной поверхности и въ земныхъ глубинахъ. Если бы мы могли перенести камень на луну, на солнце, на планеты, то замѣтили бы несравненно болѣе значительныя измѣненія его вѣса чѣмъ какія можемъ наблюдать на землѣ.

Въ чемъ состоитъ невидимое дѣйствіе гонящее тѣло, тянетъ ли что либо его снизу, толкаетъ ли что либо сверху, опытъ этого вопроса не рѣшаетъ. Есть, впрочемъ, въ числѣ извѣстныхъ намъ явленій одно представляющее значительное сходство съ разсматриваемымъ. Это притяженіе желѣза къ магниту. Кусокъ желѣза стремится къ магниту, повинувшись невидимому дѣйствію, подобно тому какъ камень стремится къ землѣ. Отсюда идея о *тяжести* или *земномъ притяженіи* какъ причинѣ паденія и вѣса тѣлъ. Хотя причины такихъ притягательныхъ дѣйствій и неизвѣстны, тѣмъ не менѣе самыя дѣйствія могутъ подлежать точному изученію, какимъ и займемся по отношенію къ тяжести.

§ 2. Равновѣсіе тѣла, повѣшеннаго на нити. Чтобы тѣло не упало, нѣтъ надобности подпирать его снизу: можно также повѣсить его на нити (фиг. 1). Спротивленіе нити уничтожаетъ дѣйствіе тяжести, которое

тянетъ внизъ. Линія MP , служащая продолженіемъ нити AB , наглядно показываетъ *направленіе*, по которому это дѣйствіе обнаруживается. Явленіе происходитъ такъ, какъ если бы линія MP была нитью, за которую нѣкоторая невидимая причина или *сила* тянула бы тѣло внизъ по ея направленію. Если условимся рисовать линію MP тѣмъ

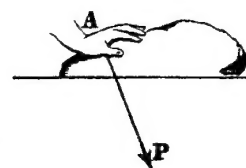


Фиг. 1 и 2.

длиннѣе, чѣмъ больше разсматриваемая нами сила, то получимъ возможность изображать на чертежѣ не только направленіе силы но и ея, сравнительную съ другими силами, величину. Чѣмъ больше вѣситъ тѣло, тѣмъ сравнительно длиннѣе должны мы рисовать линію MP .

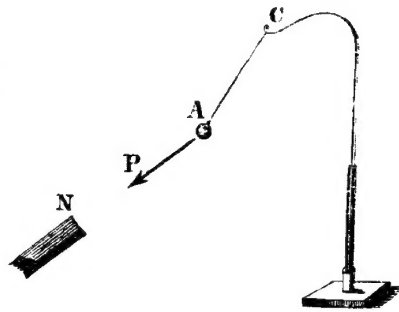
Хотя описанный опытъ и уполномочиваетъ насъ разсматривать дѣйствіе тяжести на тѣло какъ *одну* силу тянущую тѣло внизъ, однако мы не должны забывать, что на самомъ дѣлѣ каждая часть тѣла имѣетъ вѣсъ и тянула бы нить еслибы была повѣшена отдѣльно. Потому для полнаго изображенія дѣйствія тяжести мы должны представить себѣ, что на каждую частицу тѣла дѣйствуетъ своя сила (нѣсколько такихъ силъ изображено на фиг. 2). Изъ нашего опыта слѣдуетъ что дѣйствіе *цѣлой системы силъ* можетъ быть приведено къ одной силѣ. Такая сила называется *равнодѣйствующею* по отношенію къ силамъ, которыя она замѣняетъ и которыя называются *слагающими*.

Не только для изображенія дѣйствія тяжести на тѣло, но и для изображенія дѣйствія всякаго рода давленій и притяженій, вообще *силъ* на тѣла, прибѣгаютъ къ такому же способу изображенія. Такъ линія AP на фиг. 3 можетъ изображать давленіе руки на камень, линія AP на фиг. 4—притяженіе какое магнитъ оказываетъ на



Фиг. 3.

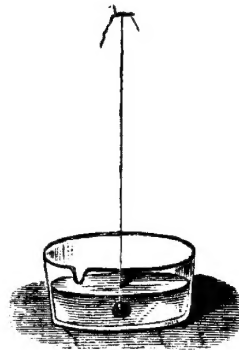
кусокъ желѣза A повѣшенный на нити, и т. д. Строго говоря, давленіе руки дѣйствуетъ не на одну точку, а на цѣлую совокупность частицъ камня, магнитное притяженіе на каждую частицу желѣза, и мы должны бы представить цѣлую систему линий, но мы можемъ безъ ущерба точности изображать одною линіею дѣйствіе причины, обнимающей цѣлую совокупность точекъ: а) если система дѣйствующихъ силъ, какъ въ примѣрѣ съ тягестію, приводится къ одной силѣ; б) когда можно по малости размѣровъ тѣла сравнительно съ разстояніемъ на какомъ разсматривается дѣйствіе не принимать въ расчетъ что тѣло состоитъ изъ частей и разсматривать его какъ одно цѣлое, какъ одну *матеріальную точку*. Частицы изъ которыхъ мы представляемъ себѣ состоящимъ тѣла всегда разсматриваются какъ матеріальныя точки.



Фиг. 34.

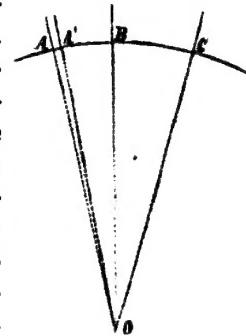
§ 3. **Направленіе дѣйствія тягести.**—Направленіе принимаемое нитью съ тяжелымъ тѣломъ на концѣ (фиг. 5), показывающее направленіе по которому дѣйствуетъ тягестъ, перпендикулярно къ поверхности воды, ртути и вообще всякой жидкости въ спокойномъ состояніи. Эта поверхность называется *горизонтальною*, а направленіе нити носитъ названіе *вертикальнаго* или *отвѣснаго*.

Изъ того что нить съ грузомъ принимаетъ направленіе перпендикулярное къ поверхности воды легко вывести что дѣйствіе тягести направлено къ центру земли. Поверхность воды покрывающей большую часть земнаго шара можетъ быть разсматриваема какъ поверхность сферическая, кажушаяся на маломъ протяженіи плоскою по причинѣ огромной величины



Фиг. 5.

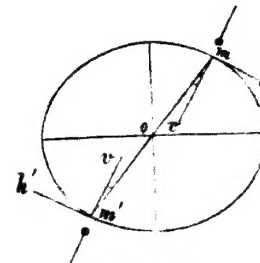
земнаго радіуса. Пусть AC (фиг. 6) представляетъ поверхность воды; и при точкѣ A повѣшено на нити тяжелое тѣло. Такъ какъ нить принимаетъ направленіе перпендикулярное къ поверхности воды, то продолженіе нити AO пойдетъ по радіусу, ибо въ сферической поверхности радіусъ перпендикуляренъ къ элементу поверхности. То же самое можно сказать и о всякой другой нити повѣшенной на какомъ-нибудь другомъ мѣстѣ земной поверхности. Такимъ образомъ вертикальныя линіи проведенныя на различныхъ точкахъ A, B, C земной поверхности, будучи продолжены внутрь земли, сходятся въ ея центрѣ. Следовательно *тягестъ дѣйствуетъ по направленію къ центру земли* *).



Фиг. 6.

Потому, если мы повѣсимъ на нитяхъ два тѣла, одно подлѣ другаго, то эти нити въ строгомъ смыслѣ не параллельны между собою, ибо ихъ направленія $AO, A'O$ (фиг. 6) пересѣкаются въ центрѣ земли. Но такъ какъ центръ земли находится на глубинѣ 6350 километровъ подъ земною поверхностію, то уголъ AOA' между двумя этими линіями такъ малъ, что ихъ можно считать параллельными. Точно также можно считать параллельными направленія по которымъ тягестъ дѣйствуетъ на разныя точки одного и того же тѣла.

*) Впрочемъ, только приближенно можно разсматривать землю какъ шаръ; различныя діаметры земли не равны между собою: полярный діаметръ менѣ діаметра экваторіальнаго на 41 километръ, и точная фигура земли близко подходитъ къ эллипсоиду вращенія около полярной оси. Такимъ образомъ, говоря строго, вертикальныя линіи не пресѣкаются въ центрѣ земли;



Фиг. 7.

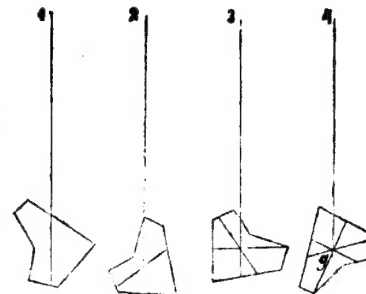
§ 4. **Центръ тяжести.** — Нить на которой вѣшается тѣло можетъ быть прикрѣплена къ различнымъ его точкамъ. Вѣшая тѣло послѣдовательно за различныя точки его поверхности и давая ему такимъ образомъ всевозможныя положенія, можно, для всякаго изъ этихъ положеній, найти направленіе равнодѣйствующей силы, къ которой проводится дѣйствіе тяжести. Пусть рассматриваемое тѣло есть однородный шаръ. Не трудно убѣдиться что за какую бы точку поверхности шара мы его ни привѣсили, онъ приметъ такое положеніе что нить на которой онъ привѣшенъ, будучи мысленно продолжена внизъ, пройдетъ чрезъ его центръ.

Не только въ случаѣ шара, а и въ случаѣ вообще всякаго тѣла, линія по направленію которой дѣйствуетъ равнодѣйствующая тяжести проходитъ во всѣхъ возможныхъ положеніяхъ тѣла черезъ одну точку. Эта точка называется *центромъ тяжести*.

На опытѣ справедливость этого положенія легко оправдать въ случаѣ, достаточно впрочемъ общемъ, *плоскаго тѣла малой толщины* (еслибы мы взяли тѣло произвольной толщины, то было бы затруднительно на опытѣ означить *внутри* тѣла продолженіе нити). Возьмемъ листъ картона и вырѣжемъ изъ него ножницами произвольную фигуру. Привѣсимъ ее на нити у стѣны, и, приложивъ линейку по направленію нити, начертимъ на картонѣ продолженіе этой нити. Потомъ привѣсимъ картонъ за другую, третью и т. д. точки края и повторимъ то же самое. Найдемъ, что всѣ начертанныя такимъ образомъ линіи (фиг. 8) пересѣкаются въ одной и той же точкѣ g , которая и

радіусъ $то$ дѣлаетъ уголъ съ вертикальною линіею $тв$, перпендикулярною въ малой части поверхности эллипса (къ касательной плоскости). Вертикальныя линіи соответствующихъ точкамъ земли лежащимъ въ концахъ одного и того же діаметра $тм'$ не совпадаютъ между собою. Антиподы въ строгомъ смыслѣ существуютъ только для полюсовъ и для экватора.

соотвѣтствуетъ центру тяжести фигуры. Такъ какъ картонъ имѣетъ толщину, то, говоря строго, самый центръ тяжести находится не на поверхности, а въ толщѣ картона, именно на срединѣ его толщины.



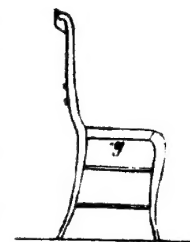
Фиг. 8.

Иногда центръ тяжести помѣщается внѣ тѣла. Такъ, за какую бы точку мы ни повѣсили кольцо (фиг. 9), направленіе нити всегда пройдетъ черезъ центръ его фигуры, который и будетъ его центромъ тяжести. Въ случаѣ стула такой формы, какъ на фиг. 10, центръ тяжести находится приблизительно въ точкѣ g , въ чемъ можно убѣдиться, вѣшая стулъ за различныя его точки. Какъ понять что сила дѣйствуетъ на точку которая не принадлежитъ тѣлу, а находится внѣ его? Не должно забывать что равнодѣйствующая сила есть представленіе нашего ума: на самомъ дѣлѣ тяжесть дѣйствуетъ на каждую частицу тѣла. Чтобы понять дѣйствіе силы на центръ тяжести, лежащій внѣ стула, достаточно вообразить что этотъ центръ соединенъ со стуломъ при помощи небольшого прибавка $и$ (фиг. 11), который, говоря строго, должно представлять себѣ не имѣющимъ вѣса.



Фиг. 9.

Когда тѣло однородно, то его центръ тяжести можетъ быть найденъ на основаніи геометрическихъ соображеній. Центръ тяжести шара, очевидно, находится въ его центрѣ; центръ тяжести цилиндра находится на срединѣ его оси; конуса—на $\frac{1}{4}$ линіи, соединяющей его вершину съ центромъ круга основанія, считая отъ вершины; треугольника—на линіи, соединяющей его вершину съ серединою основанія, на разстояніи $\frac{2}{3}$ отъ вершины.

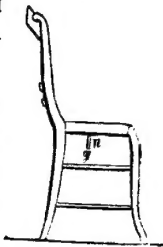


Фиг. 10.

§ 5. **Условія равновѣсія тяжелаго тѣла.** Когда центръ тяжести подпертъ, все тѣло остается въ равновѣсіи. Такъ, надѣвъ фигуру изъ картона на горизонтальную ось, проходящую чрезъ центръ тяжести и вокругъ ко-

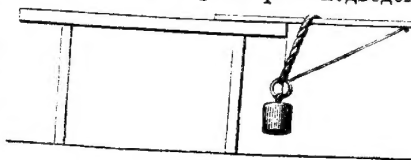
торой она может свободно обращаться, мы замѣтимъ что фигура эта останется въ равновѣсїи, какое бы положеніе мы ей ни дали вокругъ оси. Также точно стулъ (фиг. 11) остается въ равновѣсїи во всякомъ положенїи, какъ скоро подперта точка g , его центръ тяжести.

Для равновѣсїи нѣтъ необходимости чтобы центръ тяжести былъ подпертъ непосредственно. Достаточно чтобы вертикальная линия проведенная чрезъ центръ тяжести проходила чрезъ точку тѣла, которая подперта, или по крайней мѣрѣ между точками которыя подперты.



Фиг. 11.

Помѣстимъ на столѣ узкую деревянную линейку, привѣсимъ къ ней грузъ (фиг. 12) и помощью распорки подведемъ грузъ къ столу такъ, чтобы вертикальная линия проведенная чрезъ его центръ тяжести проходила чрезъ край стола. Въ такомъ случаѣ система останется въ равновѣсїи и край стола будетъ служить точкою опоры, сопротивленїемъ которой уничтожается дѣйствіе тяжести.



Фиг. 12.

Если бы не было распорки, то, конечно, равновѣсїе было бы невозможно. Прибавленїемъ распорки разрѣшается задача которая съ перваго взгляда можетъ казаться затруднительною: какъ привѣсить къ линейкѣ, которая сама падаетъ со стола (ибо большая часть ея лежитъ внѣ стола), еще тяжелый грузъ такъ, чтобы вся система осталась въ равновѣсїи?

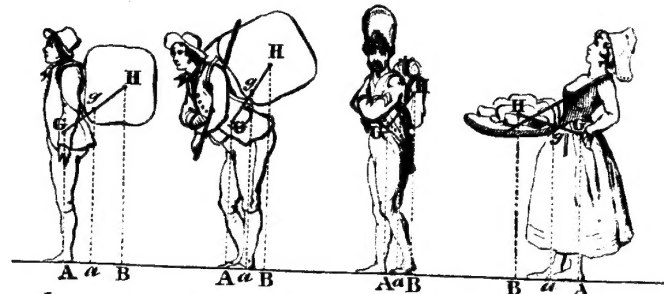
Стулъ стоящій на полу остается въ равновѣсїи, потому что вертикальная линия проведенная чрезъ его центръ тяжести, проходитъ между подпертыми точками.

Центръ тяжести человѣческаго тѣла находится на средней линїи тѣла внутри живота, противъ послѣдняго поясничнаго позвонка. Положеніе его можно опредѣлить помощью опыта съ доскою уравновѣшенной на треугольной подставкѣ (фиг. 13). Человѣкъ ложится на доску, которая тотчасъ склоняется въ ту или другую сторону, потому онъ медленно подвигается до тѣхъ поръ, пока равновѣсїе восстанавливается. Тогда центръ тяжести будетъ подпертъ и придется надъ верши-



Фиг. 13.

ною треугольной подставки. Центръ тяжести перемѣняетъ свое положеніе, внутри тѣла, когда человѣкъ двигаетъ членами или несетъ тяжесть. Если бы художникъ нарисовалъ человѣка, несущаго значительную тяжесть въ прямомъ совершенно положенїи, какъ на фиг. 14, онъ погрѣшилъ бы противъ истины. Человѣкъ въ



Фиг. 14.

Фиг. 15.

Фиг. 16.

Фиг. 17.

такимъ положенїи долженъ упасть, ибо общій центръ тяжести его и груза не подпертъ. Человѣкъ несущій тяжесть нагибается (фиг. 15) впередъ, такъ чтобы центръ тяжести попался впередъ и былъ подпертъ. Солдатскому ранцу (фиг. 16) дается широкая и плоская форма именно для того, чтобы, будучи привѣшенъ за плечами, онъ не измѣнялъ замѣтно положенїя центра тяжести и не утомлялъ солдата, заставляя нагибаться. Торговка (фиг. 17) наклоняется назадъ и подпираетъ руки въ бока чтобы уравновѣсить дѣйствіе лотка и сохранить надлежащее положеніе центра тяжести. Подобнымъ образомъ толстый человѣкъ (фиг. 18) держитъ корпусъ нѣсколько назадъ. Носильщикъ (фиг. 19), держа ведро воды въ лѣвой рукѣ, наклоняется



Фиг. 20.

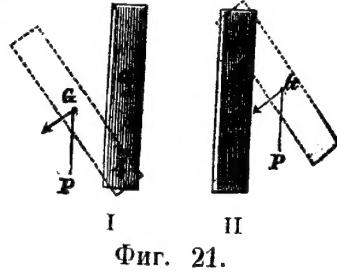
Фиг. 19.

Фиг. 18.

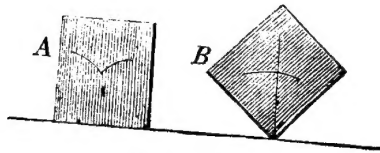
влѣво чтобы дать надлежащее положеніе центру тяжести. Наголовѣ (фиг. 20) можно безъ утомленїя нести довольно значи-

тельную тяжесть, такъ какъ центръ тяжести остается на средней линіи тѣла, и вѣтъ надобности въ утомительномъ нагибаніи.

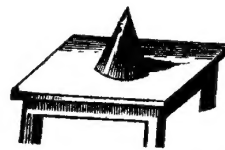
§ 6. Устойчивое и неустойчивое равновѣсіе. Если центръ тяжести помѣщенъ такъ, что тѣло, будучи выведено изъ положенія равновѣсія, стремится опять къ нему возвратиться, то равновѣсіе бываетъ прочно и называется *устойчивымъ*. Это бываетъ, когда центръ тяжести тѣла находится ниже чѣмъ въ соседнихъ положеніяхъ. Такъ тѣло повѣшенное на отвѣсной нити находится въ положеніи устойчиваго равновѣсія, ибо при отклоненіи его въ сторону центръ тяжести *повышается*. Призма, качающаяся на оси А, помѣщенной выше центра тяжести G (фиг. 21, I; поставленные на широкое основаніе конусъ (фиг. 22), кубъ (фиг. 23, А), пред-



Фиг. 21.

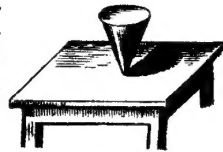


Фиг. 23.



Фиг. 22.

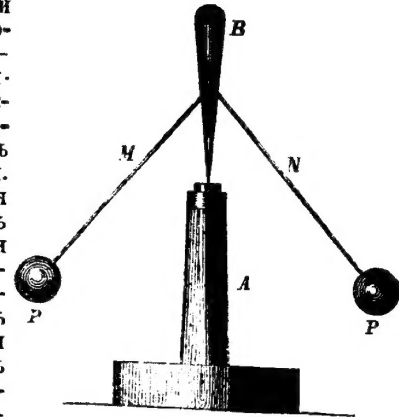
ставляютъ примѣры устойчиваго равновѣсія. Если при выведеніи тѣла изъ того положенія, при которомъ его центръ тяжести подпертъ, эта точка *понижается*, то тѣло находится въ положеніи *неустойчиваго* равновѣсія. Такой случай равновѣсія возможенъ только въ теоріи; на практикѣ его нельзя осуществить, и тѣло, помѣщенное въ положеніи неустойчиваго равновѣсія, тотчасъ падаетъ. Конусъ (фиг. 24), кубъ В (фиг. 23, В), поставленные на вершинахъ, представляютъ примѣры неустойчиваго равновѣсія.



Фиг. 24.

Снарядъ, представленный на фиг. 25, удобно можетъ служить для показанія различныхъ случаевъ равновѣсія тѣла, котораго центръ тяжести подпертъ. Если бы верхнее конусообразное тѣло В было одно помѣщено на подставку А, то оно находилось бы въ состояніи неустойчиваго равновѣсія, которое не могло бы сохраниться, и тѣло тотчасъ бы упало. Но если мы присоединимъ къ нему на прутьяхъ М и N два груза Р

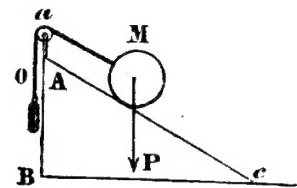
и Р, тогда центръ тяжести всей системы, — если грузы помѣщены достаточно низко, — будетъ находиться ниже точки опоры (т.-е. точки, гдѣ остріе тѣла В касается подставки), и мы будемъ имѣть случай прочнаго равновѣсія. Поднимая осторожно прутья съ грузами, можно помѣстить ихъ такъ, что центръ тяжести придется въ самой точкѣ опоры. Равновѣсіе будетъ безразличнымъ. Тѣло В будетъ оставаться въ равновѣсіи какъ въ вертикальномъ, такъ и въ наклонныхъ положеніяхъ. Загнувъ прутья еще выше, перейдемъ къ случаю неустойчиваго равновѣсія.



Фиг. 25.

§ 7. Равновѣсіе тѣла на наклонной плоскости. — Помѣстимъ тѣло на гладкой доскѣ, поставленной наклонно (на наклонной плоскости); оно скатится внизъ. Если удержимъ его помощію нити, протянутой по направленію наклона вверхъ, то усиліе съ какимъ оно тянетъ нить будетъ менѣе чѣмъ въ томъ случаѣ, когда оно отвѣсно виситъ на нити. Въ отвѣсномъ положеніи оно дѣйствуетъ на нить всѣмъ своимъ вѣсомъ, въ случаѣ же наклонной плоскости вѣсъ его уравновѣшивается двумя препят-

ствіями: сопротивленіемъ нити и сопротивленіемъ плоскости: общедѣйствіе разбивается на два дѣйствія. Величину натяженія нити можно определить опытомъ, перекинувъ нить черезъ блокъ а (фиг. 26)



Фиг. 26.

и узнавъ какой грузъ надо къ ней привѣсить чтобы тѣло осталось въ равновѣсіи. Опытъ показываетъ, что вѣсъ этого груза во столько разъ менѣе вѣса тѣла, во сколько высота АВ наклонной плоскости *меньше* ея длины АС.

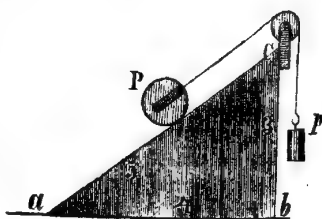
Слѣд., назвавъ вѣсъ груза буквою p , вѣсъ тѣла P , $AB = h$, $AC = l$, будемъ имѣть:

$$p : P = h : l \text{ или } p = P \frac{h}{l}$$

Такъ, напримѣръ, на фиг. 27 гдѣ высота относится къ длинѣ какъ 3 къ 5 грузъ p будетъ $\frac{3}{5}$ вѣса тѣла P .

§ 8. Равновѣсіе двухъ грузовъ на прутѣ.

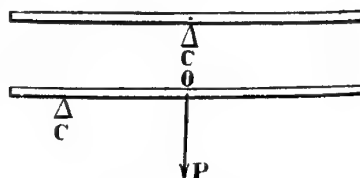
Имѣемъ прутъ помѣщенный на острой подставкѣ. Если бы прутъ



Фиг. 27.

этотъ не имѣлъ вѣса, онъ остался бы въ равновѣсіи, какою бы точкою мы ни помѣстили его на подставкѣ. Если прутъ имѣетъ вѣсъ, то онъ останется въ равновѣсіи только если подставка придется подъ его центромъ тяжести (фиг. 28). Иначе

Фиг. 28.



Фиг. 29.

сила OP (фиг. 29) изображающая вѣсъ прута, сосредоточенный въ его центрѣ тяжести, заставитъ часть лежащую вправо отъ C опуститься внизъ. Въ случаѣ однороднаго цилиндрическаго прута центръ тяжести будетъ въ срединѣ. Такой прутъ помѣщенный срединю на подставкѣ останется въ равновѣсіи, какъ если бы не имѣлъ вѣса, съ тою разницею, что прутъ имѣющій вѣсъ оказываетъ на подставку давленіе равное этому вѣсу. Привѣсимъ въ точкахъ a и b такого прута (фиг. 30) грузы P и p , которые можно рассмат-



Фиг. 30.

ривать какъ силы дѣйствующія въ этихъ точкахъ по отвѣсному направленію. Прутъ, котораго одна точка подперта, а въ двухъ другихъ дѣйствуютъ противоборствующие силы, называется рыча-

гомъ математическимъ, если мы представляемъ его себѣ не имѣющимъ вѣса, — физическимъ въ случаѣ если онъ разсматривается имѣющимъ вѣсъ. Прутъ предполагается негибкимъ. Разстоянія линий изображающихъ направленіе силъ отъ точки опоры называются *плечами* рычага. На фиг. 30 Ca и Cb суть плечи рычага. Архимедъ *) указалъ слѣдующій законъ равновѣсія силъ на рычагѣ. Чтобы двѣ силы уравновѣшивались на рычагѣ, большая сила должна дѣйствовать на рычагъ ближе къ его точкѣ опоры чѣмъ меньшая, и притомъ во сколько разъ большая сила больше малой, во столько длинное плечо, соответствующее малой силѣ, должно быть больше короткаго, соответствующаго большой.

Другими словами должно существовать отношеніе

$$\frac{P}{p} = \frac{Cb}{Ca} \text{ или } P \cdot Ca = p \cdot Cb$$

Назвавъ плечи—длинное буквою L , короткое буквою l , будемъ имѣть:

$$P \cdot l = p \cdot L$$

Такимъ образомъ помощью рычага мы можемъ малою силою уравновѣсить большую и даже, — если дадимъ малой силѣ величину большую противъ того что требуется для равновѣсія, — можемъ малымъ усиліемъ побѣдить большое сопротивление. Фиг. 31 изображаетъ приемъ, съ помощью котораго уси-



Фиг. 31.

емъ руки можно сдвинуть большой камень.

Дѣйствіе рычага обусловливается тѣмъ обстоятельствомъ что въ немъ есть точка опоры, выдержива-

*) Архимедъ великій математикъ древности жилъ въ III вѣкѣ до Р. Х. въ Сиракузахъ и былъ родственникъ и другъ правителя Сиракузъ Гіерона. Открылъ свойства центра тяжести и пра-

ющая совокупное действие приложенных сил. Точка опоры O на рычаг (фиг. 30) державшем грузы P и p испытывает давление $P+p$, къ которому прибавляется еще и давление вѣса прута, въ случаѣ если рычагъ физическій.

§ 9. Случай физическаго рычага подпертаго не въ центрѣ тяжести. Если прутъ подпертъ не въ центрѣ тяжести, тогда условіе равновѣсія грузовъ P и p нѣсколько сложнее. Пусть (фиг. 32) центръ тяжести находится въ C на разстояніи a отъ точки опоры. Явленіе очевидно будетъ одно и тоже, еслибы прутъ не имѣлъ вѣса, а въ точкѣ o былъ привѣшенъ нѣкоторый грузъ M . Грузъ P долженъ уравновѣшивать два груза: p и M . Можемъ разсматривать грузъ P состоящимъ изъ двухъ частей Q и q , изъ которыхъ Q уравновѣшиваетъ грузъ p , а q уравновѣшиваетъ грузъ M . Условіе равновѣсія будутъ, если назовемъ буквою l плечо соответствующее грузу P , буквою L плечо соответствующее грузу p и буквою a разстояние центра тяжести o отъ точки опоры:

$$Q \cdot l = p \cdot L$$

$$q \cdot l = M \cdot a$$

или, сложивъ:

$$(Q + q) \cdot l = p \cdot L + M \cdot a, \text{ то есть}$$

$$P \cdot l = p \cdot L + M \cdot a.$$

§ 10. Задачи. Двѣ силы въ m и n килограммовъ уравновѣшиваются на математическомъ рычагѣ; разстояние между ними равняется метру. Найти положеніе точки опоры.

Прутъ данной длины лежитъ концами на двухъ точкахъ опоры. На немъ на разстояніи a отъ первой точки опоры помѣщенъ грузъ M . Какое давленіе испытываетъ первая и какое

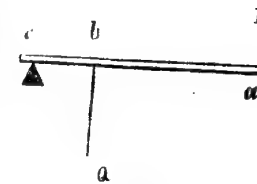
видо рычага и опытомъ показалъ что помощью механизма основаннаго на рычагѣ можно силою руки притянуть къ берегу большую галеру (говорилъ что сдвинуть бы землю еслибы имѣлъ точку опоры); открылъ потерю вѣса тѣла въ водѣ и законы плаванія тѣлъ (воскликаніе: *нашелъ, нашелъ*), изобрѣлъ винтъ для поднятія воды, зажигательныя зеркала, разрушительныя военныя машины. Въ области математики изслѣдовалъ шаръ, цилиндръ, эллипсоидъ и другія геометрическія тѣла. Убить при осадѣ Сиракузъ Римлянами.



Фиг. 32.

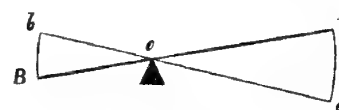
вторая точки опоры? Примѣненіе къ случаю двухъ рабочихъ несущихъ грузъ на перекладинѣ.

§ 11. Рычагъ втораго рода. Правилу рычага прилагается и къ тому случаю, когда точки приложенія силъ находятся по одну сторону точки опоры. Положимъ, что на математическій рычагъ cba (фиг. 33), котораго точка опоры въ c , дѣйствуютъ силы Q и P , направленные Q внизъ, P вверхъ. Чтобы эти силы уравновѣшивались онѣ должны удовлетворять условію: $P \cdot ac = Q \cdot bc$.



Фиг. 33.

§ 12. Рычагъ разсматриваемый какъ машина. Должно замѣтить что когда при помощи рычага малая сила поднимаетъ большой грузъ, то точка гдѣ приложена сила и точка гдѣ приложенъ грузъ проходятъ весьма неравное пространство. Въ то время какъ точка A , (фиг. 34) опускаясь, проходитъ дугу Aa , точка B , поднимаясь, описываетъ



Фиг. 34.

дугу Bb . Дуга Aa во сколько разъ болѣе дуги Bb , во сколько плечо Ac , гдѣ приложена меньшая сила, болѣе плеча Bc , гдѣ дѣйствуетъ большой грузъ.

Рычагъ представляетъ примѣръ машины, то-есть орудія помощью котораго можно производить механическую работу. Работать въ механическомъ смыслѣ значитъ что-нибудь перемѣщать вопреки препятствію. О работѣ мы судимъ съ одной стороны по величинѣ побѣждаемаго препятствія, съ другой по протяженію, на какомъ это препятствіе побѣждается, то есть по тому какъ великъ путь пройденный работающимъ двигателемъ вопреки этому препятствію. Я подымаю рукою грузъ, вѣсъ этого груза есть препятствіе, которое я долженъ побѣдить усиленіемъ руки. Чтобы судить о произведенной мною работѣ, мало знать величину поднятаго груза, надо знать еще на какую высоту онъ поднятъ. Единицею работы считается поднятіе единицы вѣса на единицу высоты. Если за единицу вѣса примемъ килограммъ, а за единицу длины метръ, то единица работы будетъ поднятіе одного килограмма на высоту метра: одинъ килограммметр. Если за единицу вѣса примемъ пудъ, а за единицу длины футъ, то единица работы будетъ пудофутъ. Работа въ 120 килограмметровъ есть поднятіе 120 килограммовъ на высоту 1 метра, или поднятіе 1 килограмма на высоту

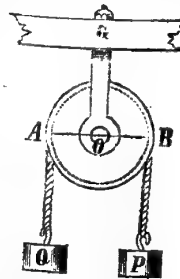
120 метровъ. Двѣ эти работы принимаются одинаковыми. Тут же, очевидно, работу представляетъ поднятіе 12 килограммовъ на высоту 10 метровъ и т. д.

Силы которыми производится работа, т. е. побѣждается препятствіе, называются двигателями. Сила человека, лошадиная вода, нагрѣтый воздухъ, паръ, — вотъ различные прижеты двигателей. Въ большинствѣ случаевъ двигатель не можетъ непосредственно дѣйствовать на побѣждаемое препятствіе. Нѣтъ, напримѣръ, возможности прямымъ дѣйствіемъ потока воды или вѣтра на пилу заставить ее пилить дрова; но вѣтеръ своимъ давленіемъ на крылья мельницы, вода на лопасти колеса легко могутъ привести въ движеніе мельницу и ось крыльевъ съ пилою, можно заставить ее двигаться назадъ и впередъ, и пилить. Тѣ посредствующія части, однѣ неподвижныя, другія подвижныя, при помощи которыхъ дѣйствіе двигателя передается дѣйствующему орудію составляютъ *машину*.

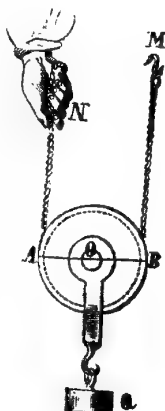
§ 13. Теорія блока приводится къ теоріи рычага. Теорію равновѣсія на блокахъ можно привести къ теоріи рычага и разсматривать точку O (фиг. 35), гдѣ проходитъ ось блока, какъ точку опоры рычага AB , гдѣ A и B суть точки приложения силъ P и Q . Такъ какъ $OA=OB$, то слѣдов. блокъ есть рычагъ равноплечій; потому для равновѣсія необходимо чтобы сила P была равна силѣ Q .

Фиг. 36 изображаетъ такъ-называемый *подвижной блокъ*. Блокъ AOB , къ которому привѣшенъ грузъ, лежитъ на нити, за одинъ конецъ которой тянетъ сила, тогда какъ другой, M , укрѣпленъ неподвижно. Въ такомъ случаѣ сила P , потребная для удержанія въ равновѣсіи груза Q , должна быть по величинѣ вдвое меньше его вѣса. Дѣйствительно, точку B (фиг. 36.) можно разсматривать, какъ точку опоры рычага AB , на короткое плечо котораго BO дѣйствуетъ сила Q , а на длинное AB сила P . Такъ какъ AB диаметръ, BO радиусъ блока, то видимъ, что длинное плечо разсматриваемого рычага вдвое болѣе короткаго. Слѣд. для равновѣсія, сила, дѣйствующая на плечо AB , должна быть вдвое меньше силы, дѣйствующей на BO .

Если мы, какъ на фиг. 37, перекинемъ нить черезъ второй (неподвижный) блокъ C ,



Фиг. 35.



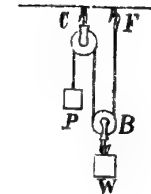
Фиг. 36.

то грузъ P можетъ удерживать въ равновѣсіи грузъ W , который вдвое его больше.

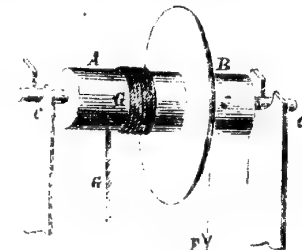
§ 14. Теорія ворота приводится къ теоріи рычага. Ворота состоятъ изъ вала, вращающагося на оси (фиг. 38) и соединеннаго съ колесомъ, составляющимъ съ нимъ одно тѣло. На валѣ накручена веревка, на конецъ которой дѣйствуетъ поднимаемый грузъ или вообще сила, представляющая собою преодолеваемое сопротивленіе. Сила движущая дѣйствуетъ на окружность колеса. Представимъ себѣ что она дѣйствуетъ при помощи намотанной на колесо веревки и сама состоятъ изъ нѣ котораго груза, повѣшеннаго на конецъ этой веревки.

Ворота можно разсматривать, какъ рычагъ; точка O , центръ сѣченія вала (фиг. 39, соотвѣтствуетъ точкѣ опоры рычага. Сила Q дѣйствуетъ на плечо ON , гдѣ ON есть радиусъ вала; сила P на плечо OM , гдѣ OM есть радиусъ колеса. Слѣд., ворота есть рычагъ не равноплечій, и условіе равновѣсія состоитъ въ томъ, что на длинное плечо долженъ дѣйствовать меньшій грузъ. Такимъ образомъ, если радиусъ колеса вдвое больше радиуса вала, то грузъ въ одинъ килограммъ, привѣшенный къ веревкѣ колеса, въ состояніи уравновѣсить два килограмма, привѣшенные къ веревкѣ вала.

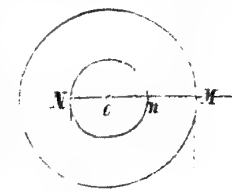
§ 15. Вѣсы. Вѣсы состоятъ изъ негнѣбкаго коромысла (фиг. 40), лежащаго, помѣстію продѣланной чрезъ него стальной призмы или ножа C , на двухъ маленькихъ плоскостяхъ изъ закаленной стали или агата, помѣщенныхъ одна передъ коромысломъ, другая сзади его. Такимъ образомъ коромысло можетъ качаться во-кругъ острія ножа и обнаруживающееся при этомъ треніе ничтожно. На концахъ коромысла привѣшены



Фиг. 37.

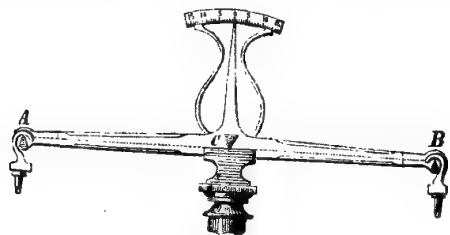


Фиг. 38.



Фиг. 39.

чашки, назначенныя для помѣщенія груза и разновѣсковъ. Крючки, на которыхъ висятъ чашки, под-



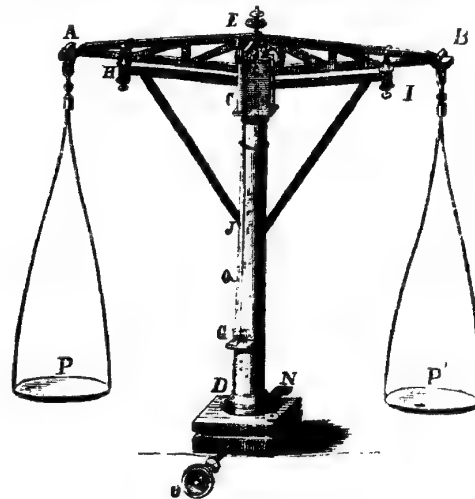
Фиг. 40.

держиваются также при помощи стальныхъ призмъ или ножей A и B, обращенныхъ ребромъ вверхъ. Ребра призмъ параллельны между собою и помѣщаются въ одной плоскости.

§ 16. Условія вѣрности и чувствительности вѣсовъ. Вѣсы должны удовлетворять условіямъ *вѣрности* и *чувствительности*. Если вѣсы *вѣрны*, то когда чашки ихъ не обременены грузами, коромысло должно оставаться въ горизонтальномъ положеніи и стрѣлка его показывать на нуль. Этому условію легко удовлетворить, — еслибы оно первоначально не было выполнено, — увеличивая или уменьшая вѣсъ одной изъ чашекъ. Горизонтальное положеніе коромысла не должно измѣниться и въ томъ случаѣ, если чашки обременены *равными* грузами. Если вѣсы склоняются въ какую-нибудь сторону, значитъ они не вѣрны. Но не должно забывать что ошибка можетъ быть отъ самыхъ гирекъ или разновѣсковъ, которые мы кладемъ на чашки и которые могутъ быть не вполне вѣрны. Потому лучше испытаніе вѣрности дѣлать помощію одной гири. Помѣстимъ на одну чашку гирию, наприимѣръ, въ килограммъ. На другую чашку поставимъ тарелку съ пескомъ, котораго насыплемъ столько, чтобы было равновѣсіе. Перемѣстивъ затѣмъ тарелку на ту чашку, гдѣ прежде была гирия, и гирию на

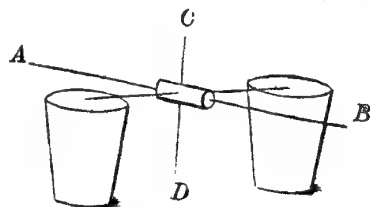
ту гдѣ была тарелка, мы должны найти, если вѣсы вѣрны, что равновѣсіе сохранится. Вѣрность вѣсовъ свѣдѣтельствуешь о равенствѣ плечъ ихъ рычага.

Если вѣсы *чувствительны* то при самой незначительной разницѣ грузовъ коромысло должно наклониться въ сторону большаго груза. Чувствительность зависитъ отъ длины коромысла и его легкости совокупно съ чашками; чѣмъ длиннѣе и легче коромысло, тѣмъ вѣсы чувствительнѣе. Она зависитъ также отъ разстоянія центра тяжести коромысла отъ точки опоры. Чѣмъ ближе центръ тяжести коромысла къ его точкѣ опоры, тѣмъ значительнѣе отклоненіе при данной разности грузовъ. Коромысло вмѣстѣ съ тѣмъ не должно сгибаться при обремененіи грузами, ибо иначе при разномъ обремененіи, вѣсы будутъ представлять не одинаковый рычагъ и не будутъ точны. До нѣкоторой степени можно соединить длину и легкость съ негибкостію, придавъ коромыслу форму удлиненаго ромба (фиг. 41) изъ бронзы или стали и вырѣзавъ большую часть его внутренности.



Фиг. 41.

Помощью слѣдующаго опыта можно показать, какое вліяніе положеніе центра тяжести коромысла имѣетъ на его равновѣсіе. Проколовъ пробку тремя вязальными спицами, какъ показано на фиг. 42, помѣстимъ концы одной изъ спицъ на края двухъ стеклянныхъ стакановъ. Эта спица будетъ представлять ось коромысла. Перпендикулярная къ ней спица АВ изображаетъ линію коромысла. Поднимая выше или опуская ниже спицу CD, можемъ перемѣщать положеніе центра тяжести всей системы, представляющей коромысло. Понятно что, когда большая половина спицы CD выше пробки, равновѣсіе будетъ неустойчивое; если она будетъ находиться ниже пробки, то устойчивое. Повышая и понижая спицу CD, можно достигнуть также безразличнаго равновѣсія.



Фиг. 42.

§ 17. Какъ производится взвѣшиваніе; двойное взвѣшиваніе. Самое взвѣшиваніе производится такимъ образомъ. Положивъ тѣло на одну чашку, на другую кладутъ разновѣски начиная съ болѣе значительныхъ. Если окажется, напримѣръ, что вѣсъ тѣла менѣе 6 и болѣе 5 килограммовъ, то употребляя послѣдовательно гектограммы (сотни граммовъ), декаграммы (десяти граммовъ), граммы, заключаемъ тѣло послѣдовательно между болѣе и болѣе тѣсными предѣлами. Окажется, напримѣръ, что вѣсъ тѣла заключается между 5,3 и 5,4 килогр., потомъ между 5,37 и 5,38; 5,371 и 5,372 килограммъ, и т. д. пока дойдемъ до предѣловъ чувствительности вѣсовъ, когда прибавленіе или снятіе малаго разновѣска не производитъ замѣтнаго вліянія.

Пользуясь методомъ *двойнаго взвѣшиванія*, можно произвести точное взвѣшиваніе и на неврѣнныхъ вѣсахъ. Взвѣшиваемое тѣло помѣщаютъ на одну изъ чашекъ вѣсовъ; на другую кладутъ кусочки свинца, дробины, песокъ и т. п., въ такомъ количествѣ, чтобы коромысло осталось въ равновѣсіи. Снимаютъ взвѣшиваемое тѣло и на мѣсто его кладутъ разно-

вѣски такъ чтобы равновѣсіе опять возстановилось. Понятно что разновѣски, замѣщая собою тѣло, показываютъ его истинный вѣсъ.

§ 18. Удѣльный вѣсъ или плотность тѣлъ. Удѣльнымъ вѣсомъ или плотностію называется число показывающее отношеніе вѣса даннаго тѣла къ вѣсу такого же объема воды. Такъ плотность желѣза равняется 8. Это значитъ, что если бы мы имѣли, напримѣръ, желѣзный шаръ и такой же величины шаръ водяной, то первый былъ бы въ 8 разъ тяжелѣе втораго. Плотность масла есть 0,92. Значитъ, если бы мы имѣли сосудъ вмѣщающій 100 граммовъ воды, то вѣсъ масла наполняющаго такой сосудъ былъ бы 92 грамма.

Таблица плотностей.

Алкоголь или чистый спиртъ...	0,79
Прованское масло.....	0,92
Ртуть.....	13,60
Платина.....	20,85
Серебро.....	10,41
Золото.....	19,10
Желѣзо.....	7,84
Мѣдь.....	8,79
Пробка.....	0,17 до 0,25
Стекло зеркальное.....	2,45
Воскъ.....	0,97

§ 19. Опредѣленіе плотности по способу флакона. Для опредѣленія плотности тѣла мы должны найти его вѣсъ, потомъ вѣсъ такого количества воды, котораго объемъ равенъ объему тѣла, и раздѣлить первое число на второе.

Такъ, для опредѣленія плотности жидкаго тѣла достаточно наполнить стекляну испытуюемой жидкости до опредѣленнаго уровня и найти ея вѣсъ (для чего должно свѣсить стеклянку пустую, а потомъ наполненную и вычесть первый вѣсъ изъ втораго). Затѣмъ, наполнивъ ту же стеклянку и до того же уровня во-

дою, должно найти *вѣсъ* воды. Отношеніе *вѣса* жидкости къ *вѣсу* воды дастъ плотность жидкости.

Стеклянки или флаконы назначаемые для опредѣленія плотности твердыхъ тѣлъ могутъ имѣть различную форму. Если кусокъ тѣла довольно великъ, то можно употреблять сосудъ (фиг. 43) съ довольно широкимъ отверстіемъ, прикрытымъ пришлифованною пластинкой стекла. Сосудъ наполняется водою до верха, такъ что она почти переливается черезъ край, и осторожно закрывается пластинкой, которая надвигается съ боку, сливая лишнюю воду. Сосудъ, обтертый снаружи пропускною бумагой, помѣщаютъ на чашку *вѣсовъ*, положивъ рядомъ съ нимъ изслѣдуемое тѣло. Количество разновѣсковъ, помѣщенныхъ на другой чашкѣ, показываетъ совокупный *вѣсъ* тѣла и сосуда, съ водою. Снявъ сосудъ съ чашки *вѣсовъ*, его открываютъ и внутрь погружаютъ тѣло. Понятно что при этомъ тѣло, входя, вытѣсняетъ равный себѣ объемъ воды. Снова закрывъ отверстие съ прежними предосторожностями, ставятъ флаконъ на чашку *вѣсовъ*. Количество разновѣсковъ, прибавленное для возстановленія равновѣсія, прямо покажетъ *вѣсъ* объема воды вытѣсненной погруженнымъ тѣломъ. Раздѣливъ *вѣсъ* вытѣсненной воды на *вѣсъ* тѣла, опредѣленный отдельно до погруженія, получаемъ плотность тѣла.

Если кусочекъ тѣла малъ, то пользуются сосудами съ узкимъ горломъ (фиг. 44), закрываемымъ хорошо пришлифованною стеклянною пробкою, имѣющею внутри каналъ и оканчивающуюся тонкою трубкой съ воронкообразнымъ расширеніемъ на концѣ. Когда пробка погружается въ горлышко стеклянки, то жидкость поднимается въ каналъ. Уда-



Фиг. 43.



Фиг. 44.

ляя избытокъ жидкости съ помощью пропускной бумаги, оставляютъ ее столько, чтобы она доходила до опредѣленной черты.

Замѣтимъ что *вѣсъ* единицы объема тѣла бываетъ различенъ при разныхъ степеняхъ тепла. Такъ, теплая ртуть легче холодной. Потому сдѣланное выше опредѣленіе термина *удѣльный вѣсъ* не полно. Должно добавить, что испытуемое тѣло берется при температурѣ таянія льда, а вода въ состояніи наибольшей плотности. Объ этомъ въ ученіи о теплотѣ.

Найдя что кубическій футъ желѣза вѣситъ въ 8 разъ болѣе чѣмъ кубич. футъ воды, заключаемъ что количество вещества заключающагося въ куб. футѣ желѣза или масса желѣза въ 8 разъ болѣе массы воды. Впрочемъ, хотя такимъ образомъ о массѣ тѣла судимъ по его *вѣсу*, однако два эти понятія не должны быть смѣшиваемы. *Вѣсъ* даннаго тѣла можетъ быть различенъ смотря по тому гдѣ помѣщено это тѣло, масса же остается неизмѣнною. Кусокъ мѣди который на землѣ вѣситъ фунтъ вѣсилъ бы на солнцѣ болѣе полуфунта; между тѣмъ масса его осталась бы тою же самою. Строго говоря, къ сравненію массъ относится слово *плотность*, слово *удѣльный вѣсъ* къ сравненію *вѣсовъ*.

§ 20. Вычисленіе *вѣса* даннаго объема тѣла. Зная число выражающее *плотность* тѣла, можно рѣшить задачу о томъ какой *вѣсъ* будетъ имѣть данный объемъ этого тѣла. Пусть, напримѣръ, требуется найти *вѣсъ* 3 кубич. футовъ золота. Извѣстно, что кубическій футъ воды вѣситъ 69,2 фунта; 3 куб. фута воды вѣсятъ 207,7 фунта. А такъ какъ золото въ 19,1 разъ плотнѣе воды, то 3 куб. фута золота будутъ вѣсить $69,2 \times 3 \times 19,1 = 3965,16$ фунтовъ. Вообще, если назвать *вѣсъ* единицы объема воды Δ , то *вѣсъ* P объема V тѣла, котораго плотность есть D , будетъ

$$P = V. D. \Delta.$$

Задача облегчается въ случаѣ метрической системы мѣръ, при которой *вѣсъ* кубическаго сантиметра воды принимается за единицу *вѣса* и называется *граммомъ*. Кубич. сантиметръ воды вѣситъ слѣдов. *граммъ*, кубическій дециметръ (1000 куб. сантиметровъ) или *литръ* вѣситъ 1 килограммъ; кубич. метръ вѣситъ 1000 килограммовъ. Потому въ случаѣ метрической системы $\Delta = 1$, и формула будетъ

$$P = V. D.$$

Вѣсъ будетъ выражаться въ граммахъ, если объемъ выраженъ въ куб. сантиметрахъ, *вѣсъ* выразится въ килограммахъ если объемъ въ литрахъ, въ тысячахъ килограммовъ если объемъ въ куб. метрахъ. Такъ, чтобы найти *вѣсъ* 5 литровъ ртути, достаточно 5 помножить на 13,6; получимъ число 68, означающее килограммы. Слѣд. 5 литровъ ртути вѣсятъ 68 килограммовъ.

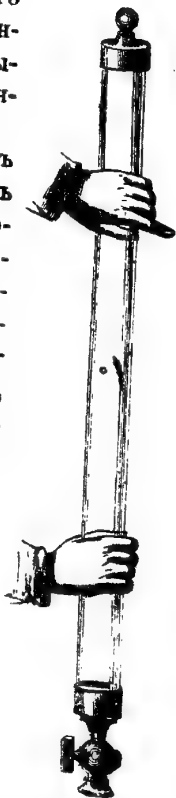
§ 21. Паденіе тѣлъ въ воздухѣ и пустотѣ. Не поддерживаемыя тѣла падаютъ. Ежедневный опытъ пока-

зываетъ что въ воздухѣ не всѣ тѣла падаютъ съ одинаковою скоростью. Бумажка, напримѣръ, падаетъ гораздо медленнѣе чѣмъ кусокъ металла. Но не должно думать что разница въ скорости паденія различныхъ тѣлъ зависитъ отъ разницы ихъ вѣса. Она зависитъ отъ сопротивленія, какое воздухъ оказываетъ падающему тѣлу: въ пространствѣ безвоздушномъ, въ пустотѣ, всѣ тѣла падаютъ съ одинаковою скоростью.

Помощію воздушнаго насоса, дающаго возможность вытянуть воздухъ изъ даннаго пространства, можно прямымъ опытомъ доказать справедливость высказаннаго положенія.

Берутъ (фиг. 45) трубку, около 2-хъ метровъ длиною, закрытую съ обоихъ концовъ мѣдными оправами, изъ которыхъ одна снабжена краномъ. Въ трубку помещаютъ нѣсколько тѣлъ различного вѣса: кусочекъ свинца, бумажку, перо и. т. д., и вытягиваютъ воздухъ. Быстро опрокинувъ такую пустую трубку, замѣчаютъ что въ ней всѣ тѣла падаютъ съ одинаковою скоростью. Снарядъ въ этой формѣ удобенъ, потому что опытъ можно повторять столько разъ сколько угодно. Впустивъ воздухъ и повторивъ опытъ, легко обнаружить разницу паденія.

Кромѣ этого прямого опыта можно привести много другихъ подтверждающихъ, хотя и не столь прямо, то же положеніе. Такъ, шары изъ камня, свинца, мѣди весьма различнаго вѣса не представляютъ замѣтной разницы въ скорости паденія. Листъ бумаги падаетъ быстрѣе, если онъ снятъ



Фиг. 45.

въ комокъ, чѣмъ когда онъ развернуть, хотя его вѣсъ не измѣнился. Кружокъ изъ бумаги и монета, будучи пущены отдѣльно, падаютъ съ весьма различною скоростью: монета гораздо быстрѣе бумажки. Но если бумажку положить на монету, то монета и бумажка упадутъ въ одно время на землю. Эти явленія легко объясняются сопротивленіемъ какое оказываетъ воздухъ движенію падающаго тѣла. Это сопротивленіе больше когда листъ развернуть, чѣмъ когда онъ сжатъ въ комокъ. Монета, падая предъ бумажкой, разсѣкаетъ воздухъ, и бумажка, не встрѣчая сопротивленія, падаетъ такъ, какъ бы она пала, еслибы не было воздуха.

Присутствіе воздуха есть причина того что нѣкоторыя тѣла, хотя имѣютъ вѣсъ, однако не только не падаютъ, но и поднимаются вверхъ, напримѣръ, дымъ, воздушный шаръ. Это происходитъ отъ той же причины, отъ которой кусокъ дерева, погруженный въ воду, вмѣсто того чтобъ опускаться внизъ, всплываетъ наверхъ.

§ 22. Галилей о паденіи тѣлъ въ воздухъ и пустотѣ. Открытіе истинныхъ законовъ паденія тѣлъ принадлежитъ Галилею. Они изложены въ его знаменитомъ сочиненіи *Разговоры о двухъ новыхъ ученіяхъ изъ механики*, написанномъ въ формѣ бесѣды между тремя лицами *). Въ эпоху Галилея воздушный на-

*) Галилей родился въ Пизѣ 1564 года, учился въ Пизанскомъ университетѣ, гдѣ потомъ былъ профессоромъ. Галилей основатель современной механики. Ему принадлежитъ открытіе законовъ паденія тѣлъ и качанія маятника. Услыхавъ что въ Голландіи дѣлаютъ трубки позволяющія разсматривать отдаленные предметы, онъ открылъ такое соединеніе стеколъ (Галилеева трубка), которое позволило ему устроить зрительную трубу для наблюденія небесныхъ тѣлъ. Онъ открылъ горы на лунѣ, спутниковъ Юпитера, фазы Венеры, солнечныя пятна и расширилъ для ума человеческого предѣлы вселенной, показавъ что, кромѣ видимыхъ простымъ глазомъ, существуетъ безчисленное множество звѣздъ. Онъ держался ученія Коперника о движеніи земли и подтвердилъ его многими физическими соображеніями изложенными въ сочиненіи (1632) *Диалоги о Птоломеевой и Копер-*

сось не былъ еще извѣстенъ, и чтобы доказать положеніе о томъ что тѣла въ пустотѣ падаютъ съ одинаковою скоростію, онъ прибѣгалъ къ слѣдующимъ соображеніямъ, вложеннымъ въ уста дѣйствующихъ лицъ *Разговоровъ*:

«*Семпличчо*. .. Аристотель учитъ что различно тяжелыя тѣла движутся въ одной и той же средѣ съ различными скоростями, прямо пропорціональными вѣсу тѣлъ, такъ что тѣло, напимѣръ, въ десять разъ тяжелѣе другое движется въ десять разъ скорѣе.

«*Сальвати*... Подозрѣваю что Аристотель не повѣрялъ опытамъ этого закона: не пускалъ съ высоты, напимѣръ ста локтей, двухъ камней, изъ которыхъ одинъ былъ бы въ десятеро тяжелѣе другого, и не наблюдалъ разницы въ скорости ихъ паденія, т. е. чтобы первый успѣлъ достигнуть земли, между тѣмъ какъ второй не пробѣжалъ и десяти локтей...»

«*Сакредо*. Я производилъ подобный опытъ и могу увѣрить, что пушечное ядро, вѣсомъ во сто, двѣсти и болѣе фунтовъ, при достиженіи земли даже на одну ладонь не упреждаетъ полуфунтовую мушкетную пулю, хотя были пушены одно временно съ значительной высоты, напимѣръ двухъ сотъ локтей...»

«*Сальвати*. Не нужно никакихъ опытовъ, а довольно краткаго размышленія, чтобы убѣдиться въ несправедливости ученія Аристотеля... Пусть даны намъ два тѣла, природныя скорости которыхъ различны. Соединимъ оба тѣла въ одно; тогда движеніе быстрѣйшаго должно замедляться движеніемъ менѣе быстрого, и наоборотъ движеніе менѣе быстрого должно ускориться движеніемъ болѣе быстрого... Возьмемъ большой камень, природная скорость котораго восемь локтей и, другой малый, природная скорость котораго пусть только четыре... Соединимъ ихъ вмѣстѣ. По доказанному скорость ихъ совокупнаго движенія будетъ менѣе восьми локтей. Но вѣдь оба камня сложенные вмѣстѣ составляютъ одинъ камень болѣе того у котораго природная скорость равна восьми локтямъ; слѣдовательно болѣе тяжелой камень долженъ двигаться медленнѣе малаго, что прямо противоположно вашему предположенію. Вотъ какимъ образомъ изъ предположенія будто болѣе тяжелая движется скорѣе чѣмъ меньшая, я заключаю что болѣе тяжелая движется медленнѣе...»

«*Семпличчо*... Все такъ мнѣ не вѣрится, чтобы капля свинца и пушечное ядро падали съ одною и тою же скоростію.

«*Сальвати*. Скажите лучше: крошечная песчинка и мельничный жерновъ...

и ихъ свѣтъ. Сочиненіе было осуждено римскою инквизиціею, Галилей подвергся гоненію и на колѣняхъ долженъ былъ отречься отъ ученія о движеніи земли, признаннаго тогда еретическимъ. Слепой съ 1636 года, Галилей умеръ въ 1642 году.

«*Сакредо*. Не думаю, чтобы вы старались насъ убѣдить что пробка быстро какъ свинецъ.

«*Сальвати*... Еслибы устранить сопротивленіе среды, всѣ тѣла падали бы съ равными скоростями.

«*Семпличчо*. Г. Сальвати, подумайте, что вы сказали! Ну можно ли повѣрить, что въ одномъ и томъ же пустомъ пространствѣ прядь льна будетъ падать также скоро какъ и свинцовая пластинка?

«*Сальвати*... Для этого необходимо пространство въ которомъ совершенно не было бы воздуха и всякаго другаго тѣла, хотя бы тонкаго и уступчиваго. Но такого пространства нѣтъ, и потому намъ остается наблюдать что случается въ средахъ тонкихъ и мало сопротивляющихся сравнительно съ тѣмъ что бываетъ въ средахъ менѣе тонкихъ и болѣе сопротивляющихся. Находимъ что съ уменьшеніемъ плотности среды уменьшается и разность въ скоростяхъ падающихъ тѣлъ... Изъ этого можно, мнѣ кажется, съ большою вѣроятностію заключать „что въ пустотѣ тѣла падали бы со скоростію вполнѣ одинаковою...“ Всякое тѣло по тайному закону природы обладаетъ стремленіемъ падать къ общему центру всѣхъ тяжестей, къ центру земнаго шара, и притомъ непрерывно и равномерно ускоряющимся движеніемъ, т. е. такъ что въ равныя времена прибавляются равныя степени скорости. Разумѣется, это справедливо когда удалены всѣ случайныя и внѣшнія препятствія. Одно изъ такихъ неизбежныхъ препятствій есть сопротивленіе оказываемое средою, когда падающее тѣло разсѣкаетъ ее и расталкиваетъ въ стороны. Всякая среда, какъ бы ни была жидка, уступчива и покойна, сопротивляется полету тѣла то болѣе, то менѣе, смотря по тому медленнѣе или поспѣшнѣе должна разступиться. а такъ какъ, по сказанному, тѣло движется непрерывно ускоряясь, то слѣдовательно ему встрѣчается все болѣе и болѣе препятствіе со стороны среды и наконецъ сопротивленіе достигаетъ такой значительности, что уничтожаетъ ускореніе, и тѣло должно идти равномерно не прекращая этой равномерности.“

§ 23. Какъ изслѣдуются законы паденія тѣлъ; скорость падающаго тѣла постоянно возрастаетъ во время паденія. Подъ именемъ законовъ паденія тѣлъ разумѣются законы относящіеся къ паденію въ пустотѣ, общіе для всѣхъ тѣлъ. Чтобы вывести эти законы нѣтъ необходимости производить опыты въ безвоздушномъ пространствѣ, что было бы крайне затруднительно. Достаточно изучить паденіе въ воздухѣ, не съ очень значительной высоты, такихъ тѣлъ которыя при небольшомъ объемѣ имѣютъ значительный вѣсъ и легко побѣждаютъ сопротивленіе воздуха, такъ какъ оно

на незавѣтную лишь долю уменьшаетъ гонящее дѣйствіе тяжести. Не мало, впрочемъ, затрудненій представляютъ и эти опыты, такъ какъ паденіе тѣла свершается очень быстро: тѣло, чтобъ упасть съ высоты 5 метровъ (или 16 футовъ), употребляетъ съ небольшимъ секунду времени. Но уже грубое испытаніе даетъ понятіе о томъ что движеніе падающаго тѣла не есть движеніе *равнолѣтное* (то-есть такое, въ которомъ въ равныя времена проходитъ равныя пространства). Движеніе падающаго тѣла постоянно ускоряется во все время паденія. Это слѣдуетъ уже изъ того что падающая гиря тѣмъ сильнѣе ударяется о землю чѣмъ значительнѣе высота, съ какой она падаетъ: а извѣстно, что сила удара наносимаго даннымъ движущимся тѣломъ зависитъ отъ скорости съ какою оно движется: пуля пущенная слабою рукою рѣбенка производитъ не то дѣйствіе, какъ пуля стремительно выброшенная выстрѣломъ изъ дула ружья.

§ 24. **Опыты Галилея надъ паденіемъ тѣлъ по наклонной плоскости и найденный имъ законъ.** Галилей доказалъ что пространства проходимыя падающимъ тѣломъ въ послѣдовательные равныя промежутки времени (считая съ начала движенія) относятся между собою какъ рядъ нечетныхъ чиселъ 1, 3, 5, 7, 9, 11... Такъ, напримеръ, падающее тѣло въ первую 0,1 секунду проходитъ 5 центиметровъ, (такъ приблизительно бываетъ при свободномъ паденіи), во вторую 0,1 секунду проходитъ 15 центиметровъ, въ третью 25, въ четвертую 35 и т. д., вообще если въ первый промежутокъ времени пройдено пространство a , то во второй проходитъ $3a$, въ третій $5a$ и т. д.

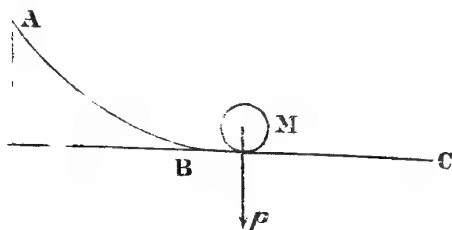
Законъ этотъ можно выразить иначе. Въ первый промежутокъ времени пройдено a , во второй $3a$, слѣдовательно вмѣстѣ въ два первыхъ промежутка пройдено $a+3a=4a$. Подобнымъ образомъ въ три промежутка получимъ $a+3a+5a=9a$; въ четыре $16a$, въ пять

25а и т. д., гдѣ $4=2^2$, $9=3^2$, $16=4^2$, $25=5^2$. Следовательно *пространство, считая съ начала движенія, возрастаетъ пропорціонально квадрату времени*. Галилей открылъ этотъ законъ, изучая движеніе тѣла падающаго по наклонной плоскости, именно шара катящагося по прямому жолубу. Такъ какъ законъ остается вѣрнымъ при всякомъ наклонѣ, то можно было заключить что онъ вѣренъ и для отвѣснаго паденія.

Свои опыты Галилей производилъ слѣдующимъ образомъ. Въ деревянномъ брусѣ, говоритъ онъ, около 12 локтей длиною, на верхней сторонѣ былъ вырубленъ канальчикъ шириною менѣе одного пальца (дюйма), проведенный возможно прямо и обклеенный пергаментомъ, хорошо выточеннымъ, чтобы сдѣлать его возможно гладкимъ... Поднявъ надъ горизонтальною плоскостью одинъ конецъ бруса, на одинъ или два локтя по произволу, я пускалъ по такому наклонному жолубу бронзовый круглый и хорошо отполированный шарикъ, наблюдая ниже описаннымъ способомъ время которое онъ употреблялъ чтобы пробѣжать весь каналъ, и повторяя опытъ много разъ чтобы хорошо увѣриться въ количествѣ времени, въ которомъ никогда не находилось разницы ни даже на одну десятую часть удара пульса... Пустивъ тотъ же шаръ по длинѣ равной *четверти* длины всего канала и измѣривъ время, я нашелъ что оно въ точности равнялось *половинѣ* времени, какое употреблялось для прохожденія цѣлаго канала. Дѣлая опыты съ другими длинами канала и сравнивая время соответствующее цѣлой длинѣ съ временемъ соответствующимъ половинѣ, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, или иной какой долѣ длины, изъ опытовъ сто разъ повторенныхъ, я всегда находилъ что проходимыя пространства относятся между собою какъ квадраты временъ; и такъ было при всѣхъ наклоненіяхъ бруса съ каналомъ по которому пускался шарикъ. Что касается до измѣренія времени, то вверху было привязано большое ведро полное води, въ дно котораго была виаена тонкая трубочка. Черезъ эту трубочку вода вытекала тонкою струей и собиралась въ маленькую чашку въ продолженіи того времени какое шаръ употреблялъ, чтобы пройти весь каналъ или какую либо его часть. Небольшія количества воды, собранныя такимъ образомъ свѣшивались на точнѣйшихъ вѣсахъ, и разности и отношенія опредѣленныхъ такимъ образомъ вѣсовъ воды давали разности и отношенія временъ.

§ 25. **Движеніе сохраняется и послѣ того какъ прекратилось дѣйствіе произведшей его причины.** Въ явленіи паденія тѣла мы имѣемъ примѣръ движенія происходящаго отъ дѣйствія *силы* на тѣло. Тѣло изъ состоя-

нія покоя приходитъ въ движеніе, потому что на него дѣйствуетъ сила. Сила эта продолжаетъ дѣйствовать и во все время движенія, вслѣдствіе чего скорость движенія увеличивается болѣе и болѣе. Что было бы еслибы сила прекратила свое дѣйствіе и перестала гнать тѣло? Съ отвѣсно падающимъ тѣломъ мы не можемъ рѣшить этого вопроса, ибо не можемъ прекратить гонящее дѣйствіе тяжести. Но когда тѣло съ наклоннаго ската (фиг. 46) переходитъ на горизонтальную плоскость, тогда дѣйствіе тяжести будучи направлено отвѣсно перестаетъ гнать тѣло, а только прижимаетъ его къ плоскости съ болѣею сплюснутымъ съ какою прижмала при наклонномъ движеніи. Тѣмъ не менѣе тѣло не останавливается и нѣкоторое



Фиг. 46.

время продолжаетъ двигаться, повинаясь пріобрѣтенной скорости. Легко усмотрѣть что остановка происходитъ вслѣдствіе *трѣнія*, порождаемаго отъ того что тѣло прижато къ плоскости. Чѣмъ глаже поверхность тѣла и пути по которому оно катится или скользитъ, тѣмъ долѣе, по прекращеніи дѣйствія силы, продолжается движеніе. Еслибы трѣніе, а также сила сопротивленія, которое воздухъ оказываетъ движущемуся въ немъ тѣлу, могли быть вполне устранены, тѣло продолжало бы вѣчно двигаться, не ослабѣвая въ скорости, т.-е. движеніемъ равномернымъ. Это заключеніе изъ опыта, выведенное Галилеемъ,

выражено имъ такими словами: „Воображаю себѣ тѣло, приведенное въ движеніе на горизонтальной плоскости, при чемъ устранены всѣ препятствія движенія... Его движеніе будетъ равномерно и вѣчно, если плоскость простирается въ безконечность.“ Вообще тѣло приведенное въ движеніе не требуетъ дѣйствія силы, чтобы движеніе продолжалось: равномерное движеніе сохраняется само собою. Когда дѣйствуетъ сила, движеніе ускоряется, если только нѣтъ препятствія побѣждаемаго дѣйствіемъ силы. (Въ случаѣ препятствія движеніе можетъ быть равномернымъ, не смотря на непрерывное дѣйствіе силы). Съ другой стороны, чтобы остановить движущееся тѣло необходимо такое же усиліе, какъ чтобы привести его въ движеніе. „Мы не болѣе, говоритъ Декартъ, *) употребляемъ дѣйствія, чтобы привести лодку въ движеніе, какъ чтобы остановить ее, когда она движется.“ Законъ природы указанный въ этомъ параграфѣ называется *закономъ ксности или инерціи*.

§ 26. Ошибочныя сужденія о движеніи. Скажемъ нѣсколько словъ объ ошибочныхъ мнѣніяхъ о движеніи, какія раздѣлялись учеными до открытія Галилеемъ и другими великими учеными XVII вѣка истинныхъ началъ динамики (наука о движеніи). Движеніе раздѣляли на два рода: *насильственное* вслѣдствіе толчка или иного внѣшняго механическаго дѣйствія и

*) Декартъ знаменитый французскій философъ (его изреченіе: *cogito ergo sum*). Полагая въ основаніе объясненія явленій природы механическія начала, онъ искалъ источника всякаго рода движеній въ явленіи толчка или удара и смотрѣлъ на различныя физическія явленія какъ на виды движенія, отъ начала приданнаго частицамъ и запасъ котораго сохраняется неизмѣнно. Въ области математики, Декартъ основатель аналитической геометріи, въ области физики и астрономіи авторъ знаменитой въ свое время теоріи вихрей. Декартъ родился въ 1596 году, учился въ іезуитской коллегіи въ Ла-Флешъ, долго путешествовалъ по Германіи, Голландіи, Италіи и Франціи: съ 1629 года поселился въ Голландіи; умеръ въ 1650 году въ Швейцаріи, призванный туда королевою Христиною, которой давалъ уроки философіи.

естественное, какъ движеніе планетъ, паденіе тяжелыхъ тѣлъ внизъ. Допускали что естественное движеніе, какъ начальное свойство тѣлъ, не требуетъ механическаго объясненія. Такъ, круговое движеніе небесныхъ тѣлъ считалось не нуждающимся во внѣшней причинѣ для своего поддержанія и сохраняющимся естественнымъ образомъ, по самой природѣ вещей. Подобное мнѣніе встрѣчаемъ даже у Коперника *), объяснявшаго почему движеніе земли не разстроиваетъ положенія и движенія тѣлъ на ея поверхности — тѣмъ что это движеніе естественное, принадлежащее не только цѣлому но и всякой части. Изгнаніе различія двухъ видовъ движенія и введеніе общаго понятія *силы*, какъ причины производящей или измѣняющей движеніе, было важнымъ шагомъ въ исторіи механики.

Другое заблужденіе происходило отъ незнанія закона ксности. Допускали, что когда движеніе происходитъ отъ внѣшней причины, то необходимо непрерывное дѣйствіе этой причины, и думали что движеніе неподдерживаемое тотчасъ прекращается. Къ этой мысли подавало поводъ неточное истолкованіе ежедневныхъ явленій. Чтобы везти тяжесть по горизонтальному направленію, должно употреблять постоянное усиліе, съ прекращеніемъ котораго движимое тѣло останавливается. Идущій человекъ также употребляетъ постоянное усиліе, чтобы двигаться, и останавливается, какъ скоро перестаетъ дѣйствовать мускулами. Но прекра-

*) Коперникъ, основатель истинной теоріи міра, родился въ Торнѣ въ 1472 году, въ молодости учился въ Краковскомъ университетѣ, гдѣ получилъ степень доктора медицины. Путешествовалъ въ Италію; вернувшись на родину получилъ должность каноника, которую сохранилъ до смерти, отдавая все свое свободное время астрономіи. Его знаменитое сочиненіе *De revolutionibus orbium coelestium* вышло въ 1543 году, и Коперникъ первый отпечатанный экземпляръ получилъ за нѣсколько часовъ до смерти.

щеніе пріобрѣтеннаго движенія въ подобныхъ случаяхъ объясняется препятствіями, какія встрѣчаетъ движущееся тѣло, и усиліе, употребляемое для поддержанія движенія, именно вызывается необходимостью побѣждать эти препятствія, непрерывно дѣйствующія во все время движенія. Не зная закона ксности, принуждены были для объясненія того что брошенный камень продолжаетъ двигаться и послѣ того какъ дѣйствіе бросающей его руки прекратилось, прибѣгать (какъ Аристотель) къ дѣйствію воздуха или вообще среды, въ которой тѣло брошено.

§ 27. Законъ ксности какъ первый законъ движенія. Ньютонъ *) въ своемъ твореніи „Principia mathematica philosophiae naturalis“ наименовалъ законъ ксности *первымъ закономъ движенія*, и выразилъ слѣдующими словами: „Всякое тѣло находящееся въ покой или движущееся равномерно по прямой линіи сохраняетъ свое состояніе, если только нѣтъ силъ вынуждающихъ его перемѣнить это состояніе.“ **) Такъ, брошенные тѣла сохраняютъ свое движеніе, но сопротивленіе воздуха замедляетъ ихъ, а сила тяжести приводитъ къ землѣ. Волчокъ, котораго части, вслѣдствіе того

*) Ньютонъ, по общему признанію величайшій испытатель природы всѣхъ временъ и странъ, открывшій законъ тяготѣнія и сдѣлавшій вопросъ о движеніи небесныхъ тѣлъ простою задачею механики, открывшій разложеніе свѣтоваго луча призмой, изобрѣтатель (одновременно съ Лейбницемъ) вычисленія безконечно-малыхъ, родился въ 1642 году, подобно Кеплеру, слабымъ и болѣзненнымъ. Учился въ Кембриджскомъ университетѣ, гдѣ съ 1669 года сдѣлался профессоромъ математики, около этого же времени вступилъ членомъ въ Лондонское Королевское Общество, котораго потомъ въ теченіе многихъ лѣтъ былъ президентомъ и главнымъ украшеніемъ. Около 1696 г. получилъ мѣсто директора монетнаго двора съ богатымъ содержаніемъ, умеръ въ 1727 году на высотѣ славы и почестей и похороненъ въ Вестминстерскомъ аббатствѣ.

**) „Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum mutare.“

что неразрывно связаны между собою, постоянно отклоняются одна от другой от прямой линии, перестает вращаться только по тому что сопротивление воздуха мало-по-малу замедляет его. Планеты, большія массы движущіяся въ пространствѣ менѣе сопротивляющемся, долже сохраняютъ свое движеніе“...

Пояснимъ примѣры Ньютона.

§ 28. Первый примѣръ Ньютона: движеніе брошеннаго тѣла. Камень брошенный рукою, ядро стремительно вытолкнутое изъ жерла пушки давленіемъ пороха, мгновенно чрезъ воспламененіе превратившагося изъ твердаго въ газообразное состояніе, продолжаютъ двигаться и послѣ того какъ рука и порохъ прекратили свое гонимое дѣйствіе. Еслибы не было сопротивления воздуха и тяжесть не дѣйствовала на брошенный тѣла, то камень и ядро двигались бы равномерно по прямой линіи въ томъ направленіи въ какомъ брошены, и ушли бы въ пространство, безконечно удаляясь отъ земли. Но тяжесть каждый моментъ отклоняетъ брошенное тѣло отъ прямолинейнаго направленія и заставляетъ описать кривой путь, упасть на землю. Сопротивленіе воздуха замедляетъ движеніе и нѣсколько измѣняетъ видъ описываемой кривой.

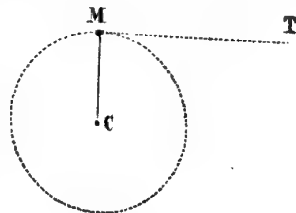
Ньютонъ первый сдѣлалъ въ высшей степени важное уподобленіе луны брошенному камню. „Представимъ себѣ, говоритъ онъ, ядро пущенное на верху горы по горизонтальному направленію съ такою скоростью что оно упадетъ на землю пролетѣвъ двѣ мили; если пустить его съ удвоенною скоростью, то оно упадетъ пробѣжавъ приблизительно четыре мили; при десятикратной скорости оно уйдетъ въдесятеро дальше (сопротивленіе воздуха не принимаемъ въ расчетъ); увеличивая скорость, мы можемъ такимъ образомъ по произволу увеличивать путь пробѣгаемый до паденія на землю и уменьшать кривизну описываемой линіи, такъ что тѣло упадетъ не ближе какъ на разстояніи 10, 20, 30 даже 90 градусовъ; оно станетъ наконецъ обращаться вокругъ земли, никогда на нее не попадая, или даже уйдетъ по прямой линіи въ пространство. Но подобно тому какъ брошенное тѣло могло бы обращаться вокругъ земли, повинувшись дѣйствію тяжести, возможно, что луна, повинувшись своей тяжести (предполагая, что она ее имѣетъ) или другой какой силѣ влекущей ее къ землѣ, всякій моментъ от-

клоняется отъ прямой линіи, чтобы приблизиться къ землѣ и принуждена обращаться по кривой орбитѣ, на которой безъ этой силы она не могла бы удержаться.“

§ 29. Второй примѣръ Ньютона: сохраненіе вращательнаго движенія. Въ примѣрѣ съ волчкомъ сохраняется вращательное движеніе. Чтобы ясно представить себѣ какъ законъ косности прилагается къ этому случаю, обратимъ вниманіе на какую либо отдѣльную частицу волчка. Если бы эта частица не увлекалась остальными, съ которыми она неразрывно связана, то она, вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости, удалась бы отъ волчка по прямой линіи, касательной къ описываемому вмѣстѣ съ волчкомъ кругу въ той точкѣ пути гдѣ частица перестала быть связанною съ остальными. Такъ летитъ, напримѣръ, грязь съ вращающагося колеса, или несутся водяныя брызги (предполагая что часть обода касается воды). Но вслѣдствіе связи съ другими частицами, разсматриваемая частица волчка постоянно уклоняется отъ прямолинейнаго пути. И такъ какъ явленіе совершается однообразно во всѣ его моменты, то движеніе сохраняется въ начальномъ видѣ, и если бы не было препятствій, осталось бы таковымъ неопредѣленное время. Вообще когда говорятъ: тѣло приведенное въ движеніе и представленное себѣ (когда слѣд. нѣтъ силъ или препятствій дѣйствующихъ на него) движется равномерно и прямолинейно, то подъ словомъ тѣло разумется частица или тѣло разсматриваемое какъ материальная точка.

§ 30. Давленіе оказываемое тѣломъ на препятствіе уклоняющее его отъ прямолинейнаго пути. Камень привѣшенный на нити и приведенный во вращательное движеніе около руки, представляетъ случай когда цѣлое тѣло уклоняется отъ прямолинейнаго пути какой стремится принять вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости. При этомъ нить бываетъ натянута и можетъ порваться если не до-

вольно прочна; рука чувствуетъ что камень тянетъ ее къ себѣ. То дѣйствіе какое тѣло, по своей косности, оказываетъ на препятствіе уклоняющее его отъ прямолинейнаго вѣра называется *центробѣжною силою*. Она обнаруживается только пока дѣйствуетъ препятствіе, и тѣло движется криволинейно. Если бы нить порвалась, то и центробѣжная сила прекратилась бы, и тѣло продолжало бы двигаться не по кругу и не по радіусу (по которому была направлена центробѣжная сила), а по касательной линіи MT (фиг. 47) въ той точкѣ гдѣ тѣло оставило кругъ. Движеніе происходитъ не отъ центробѣжной силы, а отъ приобретенной скорости. *)

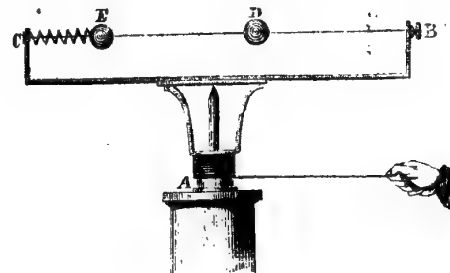


Фиг. 47.

§ 34. Опыты съ центробѣжною силою. На прутѣ, укрѣпленномъ на станкѣ, надѣтъ шаръ, который свободно можетъ двигаться вдоль прута. Станокъ помощію веревки (какъ представлено на фиг. 48) приводится въ движеніе около оси. Шаръ, какъ тяжелое тѣло, имѣетъ вѣсъ. Но такъ какъ шаръ надѣтъ на прутъ, то дѣйствіе вѣса ограничивается тѣмъ, что шаръ прижимается къ пруту сверху внизъ. На движеніе шара вдоль прута вѣсъ не имѣетъ прямого вліянія, или точнѣе, его вліяніе ограничивается тѣмъ что отъ тренія,

*) Ученіе о центробѣжной силѣ основалъ Гюгенсъ (Huyghens), знаменитый голландскій ученый родившійся въ Гаагѣ въ 1629 году. Гюгенсъ есть также основатель общепринятой нынѣ теоріи свѣта какъ волнообразнаго движенія тончайшей матеріи; ему принадлежитъ также приложеніе маятника къ устройству часовъ, открытіе, помощію устроеннаго имъ длиннаго телескопа, кольца Сатурна и проч. Вызванный Людовикомъ XIV въ 1665 году въ Парижъ въ новоустроенную тогда Академію Наукъ, онъ пробылъ въ этомъ городѣ до вѣсны отъѣзду Нантскаго адмирала. Умеръ на родинѣ въ 1695 году.

происходящаго вслѣдствіе прижатія, движеніе вдоль прута происходитъ не съ такою легкостію, какъ если-

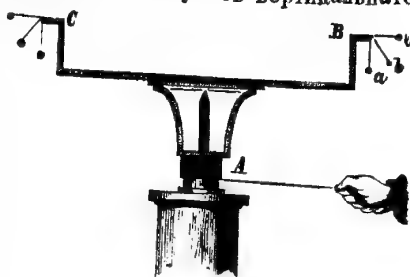


Фиг. 48.

бы шаръ не имѣлъ вѣса. Когда станокъ приведенъ во вращеніе, шаръ, увлекаемый пруткомъ, приходитъ въ движеніе, и въ то время, какъ вся система вращается около оси, удаляется отъ этой оси, двигаясь вдоль прута, и наконецъ ударяясь въ самую стѣнку станка. Если между стѣнкой и шаромъ помѣстимъ пружину, то во время вращенія системы эта пружина будетъ прижата стремленіемъ шара удалиться отъ оси. Это давленіе и есть *центробѣжная сила* въ данномъ случаѣ. Оно тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше масса тѣла, чѣмъ быстрѣе тѣло движется и чѣмъ значительнѣе кривизна проходимаго пути.

Но при разсмотрѣніи опыта съ шаромъ на прутѣ можетъ родиться мысль что, кромѣ давленія вдоль радіуса, существуетъ другое, боковое, раздающееся вслѣдствіе сопротивленія, какое шаръ представляетъ пруту, толкающему его чтобы привести его въ движеніе. Такое сопротивленіе дѣйствительно существуетъ, пока скорость вращательнаго движенія шара увеличивается или уменьшается (такъ какъ скорость сообщается шару пруткомъ). Но какъ скоро движеніе остается равномернымъ, то существуетъ только давленіе по направленію радіуса, т.е. *центробѣжная сила*. Въ случаѣ равномернаго движенія шаръ не сваливается, будучи помѣщенъ при краѣ стаяка безъ всякаго прута.

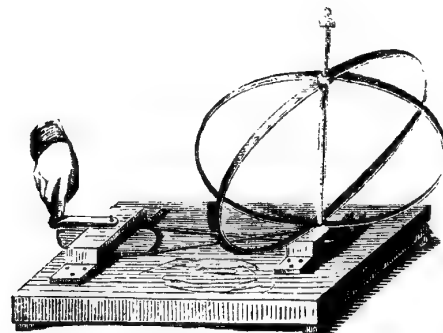
Направленіе центробѣжной силы яснѣе видно изъ слѣдующаго опыта. Замѣнимъ (фиг. 49) шаръ на прутѣ маленькимъ маятникомъ *a*, укрепленнымъ на вращающемся станкѣ. Шарикъ *a* во время вращенія подверженъ дѣйствию вѣса и центробѣжной силѣ. Онъ выходитъ потому изъ вертикальнаго положенія и отклоняется въ положеніе, напримѣръ, *b* при быстромъ движеніи приближающее къ положенію горизонтальному *c*, какое онъ имѣлъ бы, если бы вѣсъ на него не дѣйствовалъ. Во все время, пока скорость движенія остается постоянною, нить маятника остается въ одной плоскости съ осью вращенія и въ случаѣ достаточной скорости направляется почти по радіусу описываемаго круга, доказывая что упомянутого боковаго давленія нѣтъ; но если скорость движенія увеличивается или уменьшается, то маятникъ, не успѣвъ еще приобрести скорость какую имѣетъ самый станокъ, выходитъ изъ этой плоскости, либо отставая отъ нея, либо уходя впередъ.



Фиг. 49.

§ 32. Измѣненіе формы тѣла отъ центробѣжной силы. Когда тѣло вращается около оси, то скорость его различныхъ точекъ бываетъ различна. Точки болѣе удаленныя отъ оси, описывая въ продолженіи одинаковаго времени кругъ большаго радіуса чѣмъ точки ближе лежащія, должны имѣть болѣшую скорость, и ихъ центробѣжная сила должна быть значительнѣе. Фиг. 50 изображаетъ тѣло, составленное изъ двухъ гибкихъ металлическихъ обручей, надѣтыхъ на вертикальную ось. Когда снарядъ приводится въ вращательное движеніе, то отъ дѣйствія центробѣжной силы обручи растягиваются въ своихъ экваторіальныхъ частяхъ, и образуемая ими фигура становится сплюснутою. Этотъ опытъ приводится обыкновенно для поясненія фигуры земли, которая, какъ извѣстно, сжата подъ полюсами. Происхожденіе сжатія земли объясняется дѣйствию центробѣжной силы на жидкую

вращающуюся массу нашей планеты въ эпоху, когда она, какъ допускаютъ, была въ расплавленномъ состояніи.



Фиг. 50.

Повѣсивъ стаканъ съ водою на веревкѣ, можно привести его въ быстрое вращательное движеніе около руки, держащей веревку. При этомъ вода не выльется изъ стакана, не смотря на то что въ верхнихъ точкахъ пути стаканъ будетъ находится отверстіемъ внизъ. Центробѣжная сила, дѣйствуя по направленію противоположному тяжести, будетъ прижимать воду ко дну сосуда и не дозволитъ ей вылиться.

§ 33. Центробѣжная сила въ случаѣ движенія по криволинейному жолубу. Тѣло, катящееся по жолубу сверху внизъ, оказываетъ на этотъ жолобъ давленіе вслѣдствіе двухъ причинъ: своего вѣса и кривизны жолоба. Если бы этотъ жолобъ не имѣлъ кривизны и представлялъ собою наклонную плоскость, то существовало бы только давленіе отъ вѣса. Это давленіе постоянно во все время движенія, и не зависитъ отъ скорости. Давленіе вслѣдствіе кривизны жолоба (это давленіе можно разсматривать какъ центробѣжную силу, принявъ, что жолобъ представляетъ собою дугу круга болѣе или менѣе значительнаго радіуса) зависитъ отъ скорости и тѣмъ значительнѣе, чѣмъ болѣе скорость. Когда тѣло достигнетъ нижней точки пути, оно, вслѣдствіе приобретенной скорости, продолжаетъ двигаться далѣе, и если эта скорость достаточно велика, мо-

жеть, не оставляя жалоба, описать весь путь, изображенный на фиг. 51. У *ss* вѣсь тѣла побѣждается центробѣжною силой, и оно не только не падаетъ, но прижимается къ жолобу. Такъ можетъ быть устроена гора для катанія. Катящійся имѣетъ при *ss* голову внизъ и не падаетъ.



Фиг. 51.

§ 34. Третій примѣръ Ньютона: движеніе небесныхъ тѣлъ. Послѣдній примѣръ Ньютона относится къ движенію небесныхъ тѣлъ. Въ случаѣ тѣла вращающагося на нити дѣйствіе этой видимой нити уклоняетъ тѣло отъ прямолинейнаго пути и не позволяетъ ему уйти отъ руки какъ центра движенія. Ньютонъ допустилъ что въ случаѣ движенія планеты вокругъ солнца уклоненіе отъ прямолинейнаго пути, какой приняла бы планета, еслибы на нее не дѣйствовала никакая сила, происходитъ отъ невидимаго притяженія, существующаго между солнцемъ и планетою. Это притяженіе, какъ невидимая нить, не отпускаетъ планету отъ солнца. Ньютонъ доказалъ что это дѣйствіе слабеетъ для планетъ болѣе удаленныхъ и вообще для даннаго тѣла уменьшается пропорціонально квадрату его разстоянія отъ солнца.

Для объясненія движенія планетъ Кеплеръ *) также допускалъ дѣйствіе солнца на планеты, но разсматривалъ его не по радиусу описываемаго круга, а по его окружности какъ силу не-

*) Кеплеръ, открывшій законы движенія планетъ около солнца, послужившіе Ньютономъ для вывода закона тяготѣнія, родился въ 1571 году въ городѣ Вейлѣ въ Виртембергѣ учился въ Тюбингенскомъ университетѣ, затѣмъ перешелъ въ Прагу къ славному астроному Тихо-де-Браге, получилъ мѣсто императорскаго математика съ бѣднымъ вознагражденіемъ, уплачивавшимся кромѣ того неаккуратно, затѣмъ былъ профессоромъ въ Линцѣ и умеръ въ 1631 году послѣ жизни исполненной лишений, несчастій и невѣроятныхъ трудовъ. Въ концѣ жизни онъ находился на службѣ у Валенштейна, дававшего ему мѣсто въ Ростокскомъ университетѣ.

прерывно гонящую планету по ея пути. Но мы видѣли что для подержанія движенія тѣла, въ случаѣ если нѣтъ препятствій, нѣтъ надобности въ непрерывномъ дѣйствіи силы: движеніе сохраняется вслѣдствіе косности. Разъ приведенная въ движеніе планета продолжала бы двигаться, еслибы солнце и не дѣйствовало на нее, но движеніе было бы прямолинейно и планета ушла бы отъ солнца. То что требуетъ объясненія, есть именно—почему планета не уходитъ отъ солнца и описываетъ вокругъ его замѣнутую кривую линію. Утвердивъ ученіе о тяготѣніи, Ньютонъ разрушилъ систему Декарта, господствовавшую въ ту эпоху и увлекавшую ученыхъ своею простотою. Согласно этой системѣ, вокругъ солнца существуютъ *вихри* или потоки тонкаго вещества увлекающіе планеты.

Ньютонъ доказалъ далѣе что эта сила притяженія есть та самая которая заставляетъ камень падать на землю и повинуюсь которой луна удерживается на своемъ пути вокругъ земли. Всѣ эти явленія суть частные случаи одного основнаго явленія природы, состоящаго въ томъ что *всякія двѣ частицы вещества притягиваются взаимно прямо пропорціонально произведенію ихъ массъ и обратно пропорціонально квадрату ихъ разстоянія*. Этотъ законъ называется *закономъ Ньютона*. Такимъ образомъ, согласно ученію Ньютона, вѣсь тѣла есть слѣдствіе притяженія какое оказываютъ на него всѣ частицы земнаго шара. Притяженіе это дѣйствуетъ такъ какъ еслибы вся масса земли сосредоточена была въ ея центрѣ. Взаимное притяженіе тѣлъ англійскій ученый конца прошлаго столѣтія, Кавендишъ (Cavendish), доказалъ прямымъ опытомъ, обнаруживъ замѣтное, хотя и весьма слабое притягательное дѣйствіе большаго свинцоваго шара на маленькій шарикъ.

§ 35. Второй общій законъ движенія: законъ относительнаго движенія. Если нѣкоторая совокупность или, какъ говорится, *система* тѣлъ, къ которой принадлежитъ разсматриваемое нами тѣло, перемѣщается равномерно, такъ что всѣ ея точки движутся одинаково, проходя прямыя параллельныя линіи съ постоянной скоростью, и если какая-нибудь причина

дѣйствуетъ на тѣло во время движенія, то оно дѣйствуется относительно другихъ точекъ системы такъ, какъ будто вся система была въ покой, а на тѣло дѣйствовала та же причина.

Другими словами, силы дѣйствуютъ одинаково какъ на тѣло находящееся въ покой, такъ и на тѣло находящееся въ движеніи.

Галилей указалъ этотъ законъ въ своемъ знаменитомъ сочиненіи *Разговоры о системахъ міра* (за которое онъ подвергся осужденію) по поводу вопроса о томъ какимъ образомъ общее быстрое движеніе земли не разстраиваетъ частныхъ движеній происходящихъ на ея поверхности, и птица, напримѣръ, свободно перелетаетъ съ мѣста на мѣсто.

Галилей поясняетъ этотъ законъ слѣдующимъ примѣромъ. Заклучите себя съ какимъ-нибудь пріятелемъ въ залѣ подъ палубою какого-нибудь большого корабля, и пустите туда мухъ, бабочекъ и другихъ подобныхъ маленькихъ летающихъ животныхъ. Пусть будетъ тамъ также большой сосудъ съ водою, и въ немъ рыбки. Повѣсьте также на потолокъ ведро, изъ котораго капля за каплею вытекала бы вода въ другой сосудъ съ узкимъ отверстіемъ находящійся внизу подъ нимъ. Пока не движется корабль, наблюдайте какъ эти летающія животныя съ равною быстротою будутъ летать во всѣ стороны комнаты. Рыбы будутъ плавать безразлично во всѣ стороны; падающія капли будутъ попадать всѣ въ подставленный сосудъ. И вы, бросая пріятелю какую-нибудь вещь, не будете принуждены употреблять большую силу для того чтобы бросить ее въ одну сторону чѣмъ въ другую, если только разстоянія одинаковы. Прыгая вы будете проходить одинаковыя пространства во всѣ стороны (куда бы ни прыгали). Наблюдайте хорошенько за всѣмъ этимъ, и заставьте привести въ движеніе корабль, съ какою угодно быстротою. Если движеніе будетъ равномерноты вы не замѣтите ни малѣйшей перемѣны во всѣхъ указанныхъ дѣйствіяхъ, и ни по одному изъ нихъ не въ состояніи будете судить, движется ли корабль, или стоитъ на мѣстѣ. Вы, прыгая, будете проходить на полу тѣ же самыя пространства, какъ и прежде, т.е. вы не сдѣлаете, вслѣдствіе того что корабль движется весьма быстро, большихъ прыжковъ къ кормѣ, чѣмъ къ носу корабля, хотя въ то время, когда вы находитесь въ воздухѣ, подъ находящимся подъ вами, бѣжитъ къ вамъ противоположной вашему прыжку. Бросая вещь товарищу, вамъ не нужно съ большою силою бросать ее, если онъ будетъ около носа корабля, вы же около кормы, чѣмъ на оборотъ.

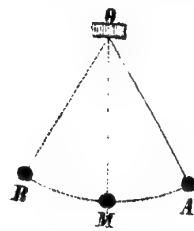
Капли будутъ падать, какъ прежде, въ нижній сосудъ, и ни одна не упадетъ по направленію къ кормѣ, не смотря на то что, въ то время какъ капля находится въ воздухѣ, корабль уходитъ впередъ на нѣсколько локтей. Рыбы въ своей водѣ не съ большимъ трудомъ будутъ плавать къ одной, чѣмъ къ другой сторонѣ сосуда, и будутъ приходить съ одинаковою ловкостью къ пищѣ, положенной на какое угодно мѣсто края сосуда. Наконецъ бабочки и мухи будутъ летать попрежнему во всѣ стороны и не будутъ держаться болѣе около той стѣны которая ближе къ кормѣ, какъ будто устали слѣдовать за быстрымъ ходомъ корабля, отъ котораго онѣ, найдявшись долго въ воздухѣ, какъ будто разъединены. И если зажжете нѣсколько ладона, то дымъ пойдетъ вверхъ и будетъ держаться въ видѣ облачка и безразлично двигаться въ ту, или въ другую сторону. А причина того что всѣ эти дѣйствія такъ соотвѣтствуютъ одно другому заключается въ томъ что движеніе корабля обще всему находящемуся въ немъ,—и воздуху. Для этого говорилъ я чтобъ мы находились подъ палубою. Еслибы мы были надъ нею, на открытомъ воздухѣ, который не слѣдуетъ за движеніемъ корабля, то замѣтили бы разницу болѣе или менѣе ощутительную.

Замѣтимъ что движеніе земли не подходитъ строго подъ тотъ случай движенія системы, для котораго мы выразили предыдущій законъ. Точки земли, вращаясь около ея оси, не всѣ имѣютъ одинаковую скорость и движутся не по прямымъ линіямъ. Поэтому движенія тѣлъ на землѣ происходятъ не совсемъ такъ, какъ они происходили бы, еслибы земля была въ покой. Движеніе земли имѣетъ вліяніе на направленіе вѣтра, на теченіе рѣкъ, на отклоненіе къ востоку тѣла падающаго съ значительной высоты, на отступленіе плоскости качающагося маятника и т. д. Такого рода явленія служатъ прямыми доказательствами обращенія земли около оси.

§ 36. Третій законъ движенія. дѣйствіе равно противо-дѣйствию. Силы произвождающія движенія въ природѣ происходятъ отъ взаимнаго дѣйствія тѣлъ. Эти дѣйствія бываютъ двоякаго рода. Тѣла могутъ дѣйствовать одно на другое чрезъ непосредственное прикосновеніе, какъ ударъ, толчокъ, давленіе, или на разстояніи, какъ притяженіе земли, магнитныя и электрическія притяженія и отталкиванія. Во всякомъ случаѣ, если одно тѣло дѣйствуетъ на другое, то это послѣднее въ свою очередь оказываетъ равное дѣйствіе на первое. Въ этомъ состоитъ законъ: *дѣйствіе равно противо-дѣйствию.*

Давя рукою на неподвижное препятствіе, напримѣръ на стѣну, мы испытываемъ сопротивленіе, равное и противоположное производимому давленію. Ударяя о какой-нибудь предметъ, мы встрѣчаемъ противодействию, и явленіе было бы то же самое, еслибы рука находилась въ покоѣ, а предметъ приближался со скоростію какою имѣла рука. Магнитъ притягиваетъ кусокъ желѣза, этотъ кусокъ тянетъ къ себѣ въ свою очередь магнитъ. Если положимъ ихъ на одинъ поплавокъ, то такой поплавокъ останется въ покоѣ. Еслибы магнитъ притягивалъ желѣзо сильнѣе чѣмъ въ свою очередь желѣзо притягиваетъ магнитъ, то весь поплавокъ долженъ бы двигаться въ сторону магнита, и наоборотъ: еслибы сила притяженія желѣза была болѣе значительна, вся система пришла бы въ движеніе въ сторону желѣза. То обстоятельство, что поплавокъ остается въ покоѣ, доказываетъ равенство двухъ силъ. Вообще, когда система состоитъ изъ двухъ тѣлъ между которыми существуетъ только взаимное дѣйствіе, то эта система сама собою не можетъ придти въ движеніе.

§ 37. Качанія маятника; ихъ несохронность. Точное изученіе дѣйствія тяжести на тѣла дѣлается не помощію изслѣдованія движенія тѣлъ свободно падающихъ или катящихся, но помощію наблюденія качаній маятника. Тѣло качающееся около одной точки или около горизонтальной оси, вслѣдствіе дѣйствія на него тяжести, называется вообще маятникомъ. Тяжелое тѣло повѣшенное на нити, представляетъ собою простѣйшую форму маятника. Если мы выведемъ тѣло *М* (фиг. 52) изъ вертикальнаго положенія въ положеніе *А* и осторожно выпустимъ его изъ рукъ,



Фиг. 52.

не давая ему никакого толчка въ бокъ, то оно возвратится опять въ вертикальное положеніе, но не остановится въ немъ, а отклонится въ противоположную сторону и станетъ качаться въ вертикальной плоскости. Мало-по-малу дуга качанія *АВ* будетъ уменьшаться и чрезъ нѣсколько времени тѣло придетъ въ покой и возвратится въ отвѣсное положеніе.

Галилей, еще въ своей юности наблюдая малыя качанія люстръ въ церкви, замѣтилъ важное свойство качаній маятника называемое *исохронизмомъ*. Онъ нашелъ что время одного качанія маятника не зависитъ отъ величины описываемой имъ дуги, то-есть что маятникъ дѣлаетъ большіе и малыя размахи въ одинаковое время. Такъ, сравнивъ число качаній которое маятникъ дѣлаетъ въ минуту, когда дуга его качанія имѣетъ, напримѣръ, около 6° , съ числомъ качаній которое онъ дѣлаетъ въ минуту, когда дуга размаха имѣетъ напримѣръ около 1° , мы найдемъ что эти числа одинаковы.

Законъ этотъ оправдывается въ строгости, впрочемъ, только если число градусовъ дуги размаха незначительно. При значительномъ отклоненіи время одного размаха нѣсколько болѣе чѣмъ при маломъ.

Такое свойство малыхъ качаній маятника дѣлаетъ его весьма удобнымъ для измѣренія времени.

§ 38. Длинный маятникъ дѣлаетъ менѣе качаній чѣмъ короткій въ данное время. Представимъ себѣ два маятника изъ которыхъ одинъ *вчетверо* короче другого. Опытъ показываетъ что число качаній короткаго маятника будетъ *вдвое* болѣе числа качаній длиннаго, такъ что если короткій маятникъ дѣлаетъ, напримѣръ, 60 качаній въ минуту, то маятникъ, вчетверо длиннѣйшій, дѣлаетъ только 30. Еслибы одинъ маятникъ былъ въ 9 разъ длиннѣе другого, то въ продолженіи даннаго времени онъ дѣлалъ бы *втрое* меньшее число качаній; такъ если короткій маятникъ, дѣлаетъ 60 качаній въ

минуту, то тотъ который въ 9 разъ длиннѣе дѣлаетъ ихъ только 20. Маятникъ, который въ 16 разъ длиннѣе, дѣлаетъ ихъ 15. Другими словами, длины двухъ маятниковъ обратно пропорціональны числамъ качаній въ данный промежутокъ времени, возвышеннымъ въ квадратъ.

Этотъ законъ можно выразить слѣдующею формулою, если назовемъ буквами l_1 и l_2 длины двухъ маятниковъ, буквами N_1 и N_2 числа ихъ качаній въ данное время:

$$l_1 : l_2 = N_2^2 : N_1^2$$

На основаніи этого закона можно рѣшить многія задачи относительно длины и числа качаній различныхъ маятниковъ. Можно, напримѣръ, какъ указываетъ Галилей въ *Разговорахъ о новыя ученія въ механикѣ* съ большою точностію опредѣлить длину нитки повѣшенной такъ что верхній, прикрѣпленный конецъ ея невидимъ, а доступенъ только нижній конецъ. Къ этому послѣднему я привязку значительную тяжесть и заставляю ее колебаться на подобіе маятника. Кто-нибудь изъ друзей станетъ считать нѣсколько послѣдовательныхъ ея колебаній, а я самъ буду въ то же время считать колебанія другого тѣла, повѣшеннаго на нити длиною ровно въ локоть. Изъ числа колебаній этихъ двухъ маятниковъ, прослѣженнаго въ продолженіи опредѣленнаго времени, тотчасъ найдется неизвѣстная длина нити. Положимъ, напримѣръ, что, въ то время когда пріятель насчиталъ 20 колебаній своего маятника, я на своемъ замѣтилъ ихъ 240. Возвысивъ эти числа въ квадратъ, получаемъ 400 и 57600. Откуда видимъ, что если нить моего маятника раздѣлена на 400 частей, то искома нить будетъ ихъ содержать 57600; а такъ какъ длина моего маятника одинъ локоть, то раздѣливъ 57600 на 400 получаемъ искомую длину, равную 144 локтямъ.

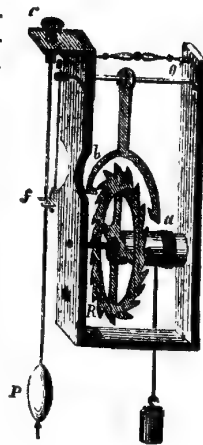
§ 39. Доказательство помощію маятника что тяжесть на всѣ тѣла дѣйствуетъ одинаково. Маятникъ съ несравненно болѣею точностію чѣмъ опытъ съ паденіемъ тѣла въ трубкѣ можетъ оправдать важное положеніе, что тяжесть на всѣ тѣла дѣйствуетъ одинаково, сообщая имъ, когда тому не препятствуетъ сопротивленіе воздуха, равныя скорости. Не трудно дѣйствительно убѣдиться что маятники равной длины, но изъ весьма различныхъ веществъ, совершаютъ свои колебанія въ одно и то же время.

Галилей для этой цѣли поступалъ такъ: „Я взялъ, говоритъ онъ, два шара, одинъ свинцовый, а другой пробковый, такъ что первый былъ слишкомъ во сто разъ тяжелѣе втораго. Каждый изъ нихъ я привязалъ на тонкую бичевку, а обѣ бичевки, равныя между собою длиною (въ четыре или пять локтей), прикрѣпилъ наверху. Повѣсивъ такимъ образомъ шары, въ одно и то же мгновеніе я вывелъ ихъ изъ перпендикулярнаго положенія и они, описывая дуги равныхъ полудіаметровъ (такъ какъ были на концахъ равныхъ бичевокъ), сперва спустились на прежнее свое мѣсто, прошли чрезъ него, поднялись въ другую сторону и снова тѣмъ же путемъ направились куда были мною отклонены. Послѣ множества такихъ качаній стало несомнѣнно, что время употребляемое свинцомъ на сотню, даже на тысячу размаховъ, ничуть не превышаетъ времени употребляемаго на то же число качаній пробкою, но что эти времена вполнѣ равны между собою. Вліяніе среды и здѣсь не преминуло высказаться; но оно, нѣсколько затрудняя движеніе, только уменьшало ширину размаховъ пробковаго шара сравнительно съ размахами свинцоваго, а не дѣйствовало на время качаній; дуги, проходимыя пробкою, ограничивались 5 или 6 градусами, а проходимыя свинцомъ достигали 50 или 60 градусовъ; однако и тѣ и другія были пробѣгаемы въ равныя времена.“

§ 40. Изслѣдованіе напряженія тяжести помощію маятника. Число качаній маятника зависитъ не только отъ длины, его, но и отъ напряженія тяжести въ мѣстѣ гдѣ производится наблюденіе. Гдѣ напряженіе тяжести значительнѣе, тамъ тѣла падаютъ быстрѣе; быстрѣе должны свершаться и качанія маятника, а слѣдовательно число ихъ въ данное время должно быть значительнѣе. Такимъ образомъ маятникъ одной и той же длины подъ экваторомъ, гдѣ напряженіе тяжести слабѣе, дѣлаетъ менѣе качаній въ минуту чѣмъ подъ высшими широтами. Длина маятника дѣлающаго 60 качаній въ минуту (секундный маятникъ) подъ экваторомъ = 991 миллиметру, подъ широтою 45° = 994 мм., подъ полюсомъ = 996 мм. Тяжесть ослабѣваетъ акже на высотѣ, по мѣрѣ удаленія отъ центра земли. Она ослабѣваетъ въ глубинахъ земной коры; ибо по мѣрѣ углубленія число притягивающихъ слоевъ уменьшается тѣмъ какія остаются выше тѣла. Вообще всѣ измѣненія тяжести изучаются помощію наблюденія качаній маятника.

§ 41. Приложение маятника къ часамъ. Валъ съ насаженнымъ на немъ зубчатымъ колесомъ приводится въ движеніе дѣйствіемъ заведенной пружины или опускающагося внизъ гири, какъ изображено на фиг. 53. Если бы ничто не удерживало гири, то она опускалась бы внизъ ускорительнымъ движеніемъ, и скорость вращенія вала увеличивалась бы болѣе и болѣе. Но представимъ себѣ что мы черезъ опредѣленные промежутки времени останавливаемъ валъ. Тогда, если остановки слѣдуютъ одна за другою черезъ равныя промежутки, движеніе вала бу-

детъ періодическимъ, и онъ въ продолженіе каждаго изъ этихъ промежутковъ успѣетъ повернуться на одинаковый уголъ. Если къ его оси приделана стрѣлка, то и она будетъ проходить на циферблатѣ равное пространство въ продолженіи каждаго изъ равныхъ промежутковъ времени, и по величинѣ всей пройденной дуги можно будетъ судить, сколько было послѣдовательныхъ остановокъ, и слѣд. сколько прошло равныхъ промежутковъ времени. Эти остановки дѣлаются помощью маятника. Маятникъ, качаясь, увлекаетъ въ своемъ движеніи стержень f и вмѣстѣ съ нимъ дугу ab , называемую крючкомъ. Крючокъ оканчивается загнутыми кончиками, которые могутъ входить въ промежутки между зубчиками колеса, насаженного на валѣ. Въ моментъ когда маятникъ движется такъ что точка b удаляется отъ колеса, зубчикъ, опиравшійся въ этой точкѣ, дѣлается свободнымъ, и колесо вращается до тѣхъ поръ, пока кончикъ a , приближающійся къ колесу въ то время какъ b удаляется, коснется зубчика непосредственно подъ нимъ находящагося. Когда маятникъ возвращается назадъ, конецъ a поднимается; колесо приходитъ въ движеніе, но снова останавливается кончикомъ заставляющимъ слѣдующій зубецъ колеса. Размѣры колеса таковы что при каждомъ размахѣ маятника оно повертывается ровно на одинъ зубецъ. Такимъ образомъ движеніе колеса будетъ состоять изъ маленькихъ перемѣщеній, соответствующихъ каждому одному размаху маятника, и эти послѣдствія перемѣщенія равны между собою, такъ какъ маятникъ каждое качаніе дѣлаетъ въ одинакое время. Вмѣстѣ съ тѣмъ при каждомъ размахѣ кончикъ крючка получаетъ маленький ударъ отъ останавливаемаго имъ зубчика. Этими ударами возстанавливается потеря движенія испытываемая маятникомъ вслѣдствіе тренія и другихъ сопротивленій, и маятникъ качается не останавливаясь все время пока спускается гиря.

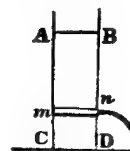


Фиг. 53.

II. Ученіе о жидкостяхъ.

§ 42. Удобоподвижность частицъ жидкости. Въ твердомъ тѣлѣ частицы соединены между собою такъ что кромѣ небольшихъ колебаній не могутъ имѣть движенія независимо отъ движенія цѣлаго тѣла. Частицы жидкости напротивъ того удобоподвижны, могутъ перемѣнять свои мѣста, встрѣчая со стороны окружающихъ частицъ лишь такое препятствіе которое можно сравнить съ треніемъ. Жидкости не имѣютъ опредѣленной, неизмѣняемой формы, а принимаютъ форму сосудовъ, въ которыхъ заключены. Но легко измѣняясь въ формѣ, жидкости мало измѣняются въ объемѣ даже если подвергнуть ихъ сильному сдавленію. Отсюда названіе *несжимаемыхъ* даваемое жидкостямъ.

§ 43. Жидкости имѣютъ вѣсъ, вслѣдствіе котораго давятъ на дно и стѣнки сосуда. Жидкости имѣютъ вѣсъ какъ и твердыя тѣла. Но жидкую массу нельзя, какъ твердое тѣло, повѣсить на нити; нельзя также, не заключивъ въ сосудъ, поставить на столъ. Столбъ жидкости AC (фиг. 54) давитъ внизъ также какъ столбъ твердаго тѣла, но еслибы этотъ жидкій столбъ не былъ окруженъ стѣнками, онъ тотчасъ же разлился бы въ бока. Если сдѣлаемъ въ стѣнкѣ отверстіе n , то жидкость брызнетъ образуя струю; если чтобы прекратить ее приложимъ палецъ то онъ будетъ испытывать давленіе со стороны



Фиг. 54.

жидкости. Изъ этого опыта слѣдуетъ что верхніе слои жидкости давя на слой mn не только нажимаютъ на него сверху внизъ, но и даютъ его частицамъ стремленіе двигаться въ бока. И это стремленіе, какъ свидѣтельствуется направленіе выходящей струи, направлено перпендикулярно къ стѣнкѣ сосуда въ томъ мѣстѣ, гдѣ струя выходитъ. Такимъ образомъ въ срединѣ изображеннаго на фиг 55 сосуда струя направлена горизонтально, въ верхней части идетъ вверхъ, въ нижней направлена внизъ *). По силѣ струи можно заключить что давленіе это тѣмъ больше, чѣмъ ниже отверстіе, чѣмъ слѣдовательно длиннѣе давящій столбъ жидкости.



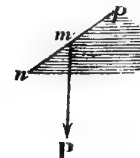
Фиг. 55.

§ 41. Форма свободной поверхности. Налитая въ сосудъ жидкость принимаетъ форму сосуда, оказывая, какъ упомянуто, давленіе на его дно и стѣнки гдѣ ихъ касается. Въ открытой части сосуда, гдѣ нѣтъ удерживающей стѣнки, жидкость сама собою располагается въ равновѣсіи и принимаетъ такую поверхность для сохраненія которой нѣтъ надобности въ стѣнкѣ. Эта поверхность въ каждой точкѣ должна быть перпендикулярна къ направленію дѣйствія тяжести, ибо лишь для такой поверхности не надо удерживающей стѣнки. Всякая другая поверхность не могла бы сохраниться сама собою. Такъ если бы поверхность жидкости (фиг. 56) при точкѣ m была наклонна, то слои жидкости выше этой точки лежащіе,

*) Замѣтимъ что такое направленіе выходящая струя имѣетъ только при самомъ отверстіи; на незначительномъ разстояніи отъ отверстія она уже замѣтно загibaется и описываетъ кривую линію. Это происходитъ отъ дѣйствія тяжести на частицы струи, которую вообще можно сравнивать съ брошеннымъ тѣломъ.

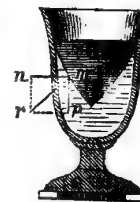
давя внизъ, произвели бы при m и боковое давленіе, которое, если нѣтъ стѣнки, перемѣстило бы частицы жидкости.

Поверхность перпендикулярную къ направленію тяжести въ сосудѣ можемъ разсматривать какъ плоскость (горизонтальная плоскость). Плоскость эта есть, строго говоря, малая часть сфероидальной поверхности (см. § 3) какую имѣетъ вода покрывающая землю.



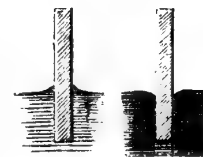
Фиг. 56.

Еслибы направленіе силы дѣйствующей на жидкость измѣнилось, то измѣнилась бы и свободная поверхность. Если напр. приведемъ сосудъ во вращательное движеніе около вертикальной оси, то жидкость, поднимется при краяхъ сосуда, опустится въ срединѣ и приметъ кривую поверхность. На частицу m жидкости (фиг. 57) дѣйствуютъ двѣ силы: одна—сила тяжести, по направленію tr , другая—центробѣжная сила, по направленію tn . Поверхность жидкости въ точкѣ m перпендикулярна къ линіи mr показывающей направленіе совокупнаго дѣйствія этихъ двухъ силъ.



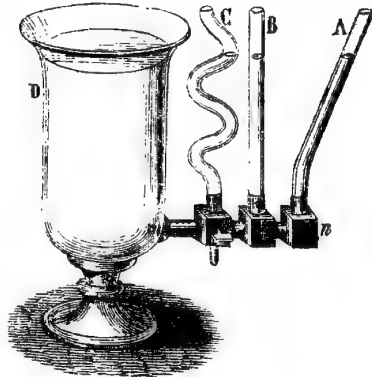
Фиг. 57.

§ 45. Поверхность жидкости при стѣнкахъ сосуда. Замѣтимъ что при стѣнкахъ сосуда и вообще при краяхъ стеклянной пластинки, опущенной въ воду (фиг 58), поверхность жидкости не остается быть горизонтальною, а возвышается надъ общимъ уровнемъ, имѣя *вогнутую* кривизну. Такъ бываетъ при всѣхъ тѣлахъ способныхъ смачиваться жидкостью. Явленіе бываетъ иначе, когда жидкость не смачиваетъ тѣло, къ которому прикасается. Такъ ртуть при стѣнкахъ стекляннаго сосуда или при краяхъ пластинки (фиг. 59), стоитъ ниже общаго уровня образуя *выпуклость*. Явленія эти зависятъ съ одной стороны отъ того что между частицами жидкости существуютъ взаимныя притяженія, побуждающія жидкую массу предоставленную своимъ внутреннимъ силамъ принимать сферическую форму, а съ другой, что между частицами твердаго тѣла и частицами жидкости можетъ существовать прилипаніе, превышающее взаимное притяженіе частицъ жидкости (какъ въ случаѣ стекла и воды).



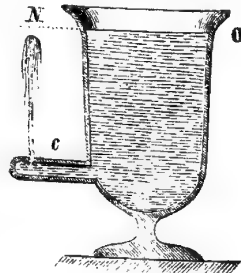
Фиг. 58. Фиг. 59.

47. Жидкость въ двухъ сообщающихся трубкахъ. Въ двухъ или нѣсколькихъ сообщающихся трубкахъ (фиг. 60) жидкость стоитъ на одинаковой высотѣ, такъ что поверхности ея въ этихъ сосудахъ суть продолженія одной общей горизонтальной поверхности.



Фиг. 60.

Въ случаѣ двухъ сообщающихся сосудовъ, изъ которыхъ одинъ короче другого и закрыть горизонтальною стѣнкою съ небольшимъ отверстіемъ или въ случаѣ сосуда подобнаго изображенному на фиг. 61, съ отверстіемъ при с, жидкость стремится чрезъ отверстіе достигъ уровня какой имѣетъ въ наполненномъ сосудѣ и бьетъ вверхъ струей, образуя *фонтанъ*. Высота до какой достигаетъ струя ниже продолженнаго уровня жидкости *ОН*. Причины не позволяющія ей достигать этой высоты суть давленіе частицъ жидкости возвращающихся внизъ на тѣ которыя еще поднимаются, треніе жидкости о стѣнки отверстія и сопротивленіе воздуха. Можно допустить что если бы этихъ причинъ не было, жидкость поднялась бы до самой высоты *Н*. Дѣйствительно въ первый моментъ истечения, когда первая причина еще не дѣйствуетъ, высота струи значительно ближе подходитъ къ уровню чѣмъ потомъ. Можно также избѣгнуть вліянія возвра-

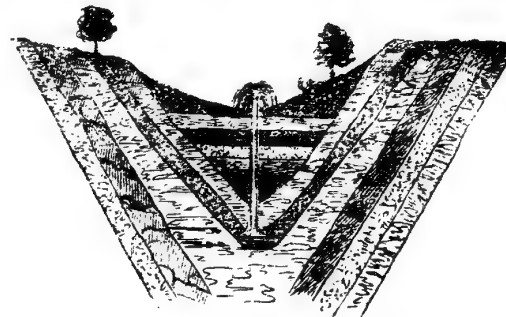


Фиг. 61.

щающихся частицъ заставивъ струю бить въ нѣсколько наклонномъ направленіи

Распределение воды по фонтанамъ въ городахъ и садахъ основывается также на законѣ сообщающихся трубокъ. Въ такихъ случаяхъ имѣется на возвышенномъ мѣстѣ резервуаръ воды, естественный или искусственно наполненный посредствомъ водоподъемныхъ машинъ берущихъ воду изъ источниковъ. Отъ резервуара идутъ трубы разносящія воду въ мѣста лежащія ниже резервуара, гдѣ она выходитъ съ силою чрезъ надлежаще направленное отверстіе. Въ Москвѣ вода Мытищинскихъ ключей поднимается водоподъемными машинами въ возвышенный резервуаръ, находящійся въ мѣстечкѣ Алексѣевскомъ за городскою чертою; резервуаръ этотъ сообщается съ большимъ городскимъ резервуаромъ, помѣщеннымъ на Сухаревой башнѣ, откуда уже трубы разносятъ воду по фонтанамъ

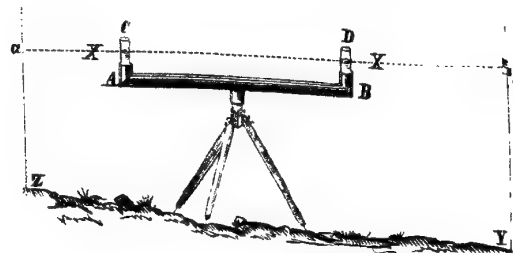
Естественные ключи, въ свою очередь, суть приложеніе того же закона сообщающихся трубокъ. Земная кора въ верхнихъ частяхъ состоитъ главнымъ образомъ изъ наложенныхъ одинъ на другой породъ глины, рухляка, песку и разныхъ каменныхъ массъ. Одни изъ этихъ слоевъ проницаемы для воды, другіе, какъ слои глины, не проницаемы. Такъ какъ слои обыкновенно расположены наклонно (фиг. 62), то при поверхности



Фиг. 62.

земной они обозначают себя как болѣе или менѣе широкія полосы покрытыя общимъ подъ слоемъ обрабатываемой земли. Дождевыя воды скопляются въ проницаемыхъ слояхъ, образуя обширные подземные резервуары. Воды рѣвъ протекующихъ надъ такими слоями въ свою очередь содѣйствуютъ наполненію этихъ резервуаровъ. Если въ непроницаемомъ слое подъ которымъ лежитъ резервуаръ образуется каналъ, то вода чрезъ него проникаетъ и можетъ выйти на поверхность земли, буде отверстіе ниже уровня воды въ проницаемомъ слое. Нередко можно произвести ключъ искусственно, пробуравивъ землю до слоя подземной воды, если таковой находится подъ данною мѣстностію и если уровень его воды выше мѣста гдѣ желаемъ получить ключъ. Такъ дѣлаются глубокія колодцы (фиг. 62) называемыя *артезианскими*, обильно доставляющіе воду изъ обширныхъ водныхъ резервуаровъ, лежащихъ на значительной глубинѣ и питаемыхъ водами болѣе или менѣе отдаленныхъ возвышенныхъ мѣстностей.

§ 47. На свойствѣ сообщающихся сосудовъ основано устройство снаряда, называемаго *нивеллиромъ* и служащаго для опредѣленія разности вертикальныхъ высотъ различныхъ мѣстностей или, какъ это говорится, для нивелированія. Нивеллиръ есть металлическая трубка оканчивающаяся двумя вертикальными стеклянными трубками. Налитая вода стоитъ на одинаковой высотѣ въ трубкахъ *АС* и *ВD*, и лучъ зрѣнія наблюдателя (фиг. 63) направленный по поверх-



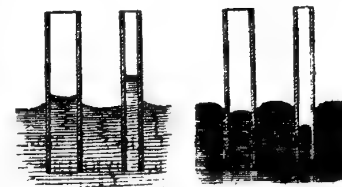
Фиг. 63.

ности жидкости, имѣетъ необходимымъ образомъ горизонтальное направленіе *XX*. На вертикальномъ шестѣ *У* помѣщается значокъ или мѣта *В*, состоящая изъ четырехъ квадратовъ, изъ которыхъ два бѣлые и два черные или красные. Мѣта *В* ставится на такой высотѣ, что для наблюдателя, смотрящаго при *АС*, уровень жидкости въ трубкахъ *АС* и *ВD* и общая вершина четырехъ квадратовъ мѣты находятся на одной горизонтальной линіи *XX*. Измѣряютъ высоту *УВ*. Переносятъ шестъ съ мѣтою въ другое мѣсто *З* и опредѣляютъ высоту другой точки *а*, находящейся на той же горизонтальной линіи *XX*. Разность линій *ВУ* и *аZ* показываетъ на сколько точка *З* лежитъ выше горизонтальной плоскости, проходящей чрезъ точку *У*.

§ 48. Капиллярныя трубки. Если одна изъ сообщающихся трубокъ имѣетъ очень малый діаметръ (такія трубки называются *капиллярными* или *волосными*), то явленіе происходитъ иначе чѣмъ въ широкихъ каналахъ. Сплавляющая трубку жидкость стоитъ въ узкой трубкѣ выше (фиг. 64) чѣмъ въ широкой. Такъ бываетъ, напримѣръ, въ случаѣ воды въ стеклянномъ сосудѣ. Ртуть наоборотъ въ узкомъ каналѣ стоитъ ниже (фиг. 65) чѣмъ въ широкомъ. Чѣмъ менѣе діаметръ капиллярной трубки тѣмъ значительнѣе разница уровня жидкости между двумя колѣнами. Подобнымъ образомъ, если опустимъ стеклянную капиллярную трубку въ сосудъ съ водою и если внутренняя поверхность трубки совершенно чиста, или если она была предварительно смочена водою, то вода внутри трубки поднимается и будетъ стоять *выше* общаго уровня жидкости въ сосудѣ, оканчиваясь *вогнутымъ менискомъ* (фиг. 66). Если трубка опущена въ сосудъ съ ртутью, то въ трубкѣ жидкость стоитъ *ниже* общаго уровня (фиг. 67) и будетъ оканчиваться *выпуклымъ менискомъ*. Явленія эти объясняются изъ того же начала какъ упомянутыя въ § 45 явленія повышенія и пониженія жидкости при стѣнкахъ сосуда.



Фиг. 64 и 65.



Фиг. 66.

Фиг. 67.

Приведемъ еще нѣсколько примѣровъ капиллярныхъ дѣйствій. Кусокъ сахара, обмокнутый концомъ въ воду, весь пропитывается ею. Промежутки между маленькими кристаллами, изъ которыхъ состоитъ сахаръ, образуютъ узкіе неправильные каналы, играющіе роль узкихъ трубокъ въ которыхъ поднимается жидкость. Отъ подобной же причины поднимаются масло и спиртъ

въ фитилѣ лампы, а пропускная бумага впитываетъ въ себя чернила; коротенькая стеклянная трубка съ капиллярнымъ диаметромъ, оканчивающаяся тонкимъ концомъ, можетъ служить вмѣсто свѣтильни и т. д.

Чтобы смочить землю въ горшкѣ съ цвѣтами, можно, вмѣсто того чтобы поливать сверху, налить воды въ плоскій сосудъ, въ которомъ ставится горшокъ. Вода просочится вверхъ и смочитъ землю. Насыпавъ на поверхность воды въ стаканѣ мелкаго порошку плавуна, можно, не замочивъ пальца, опустить его въ воду до дна. Палецъ, проходя чрезъ плавуна, покроется слоемъ этого порошка и останется несмоченнымъ.

§ 49 Условіе равновѣсія разнородныхъ жидкостей въ сообщающихся сосудахъ. Если въ сообщающихся между собою сосудахъ находятся двѣ несмѣшивающіяся жидкости различной плотности, то высоты ихъ надъ плоскостью раздѣленія будутъ обратно пропорціональны плотностямъ. Нальемъ въ два сообщающіеся сосуда (фиг. 68) ртути. Она расположится въ обѣихъ колѣнахъ на одинаковой высотѣ. Прильемъ воды въ одно изъ колѣнъ. Когда равновѣсіе установится, сравнимъ вертикальныя высоты столбовъ AM и Nm воды и ртути, считая ихъ отъ уровня раздѣленія воды и ртути Mm . Тогда высота столба воды AM будетъ во столько разъ болѣе высоты столба ртути Nm , во сколько плотность ртути болѣе плотности воды.



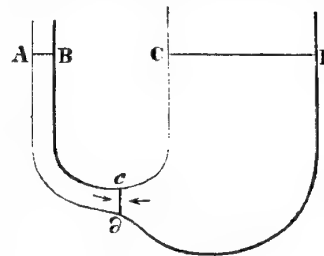
Фиг. 68.

Назвавъ плотности двухъ жидкостей, находящихся въ сообщающихся сосудахъ, буквами D и d , высоты ихъ столбовъ, считая отъ уровня раздѣленія, буквами H и h , будемъ имѣть:

$$\frac{H}{h} = \frac{d}{D}$$

§ 50. Законъ сообщающихся трубокъ ведетъ къ заключенію что давленіе жидкости не зависитъ отъ ея количества. Возьмемъ два налитые жидкостью сообщающіеся

сосуда (фиг. 69), одинъ широкій, другой узкій и обратимъ вниманіе на сѣченіе cd . Въ этомъ сѣченіи жидкость широкаго сосуда оказываетъ давленіе справа влѣво, и если бы не было жидкости наполняющей узкій сосудъ, то потребовалась бы стѣнка cd , которая приняла бы это давленіе и удержала жидкость отъ перехода въ узкій сосудъ. Жидкость узкаго сосуда давитъ справа влѣво. Два эти давленія, очевидно, равны между собою, ибо жидкость не переходитъ ни вправо, ни влѣво, что послѣдовало бы, еслибы одно изъ этихъ давленій было болѣе другаго. Отсюда заключаемъ что давленіе жидкости не зависитъ отъ ея количества, такъ какъ малое количество, заключающееся въ узкомъ колѣнѣ можетъ уравнивать давленіе значительной массы заключающейся въ широкомъ сосудѣ.



Фиг. 69.

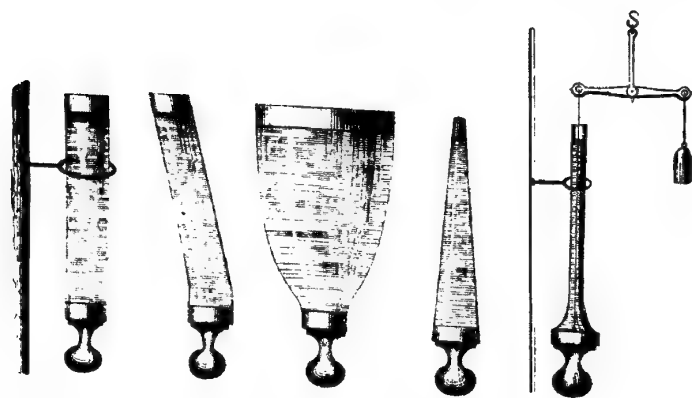
Это размышленіе и вообще открытіе законовъ давленія жидкости въ сосудѣ принадлежитъ голландскому ученому Стевину, изложившему свои изслѣдованія въ сочиненіи выданномъ въ 1586 году. Опыты Стевина *) были воспроизведены и пополнены Паскалемъ **)

*) Стевинъ, голландскій ученый, родился въ Брюггѣ около средины XVI вѣка. Онъ основатель ученія о равновѣсіи на наклонной плоскости и о давленіи жидкостей.

**) Паскаль, знаменитый французскій философъ и математикъ, родился въ Клермонѣ въ 1623 году и былъ сыномъ президента суда. Отецъ Паскаля, бывшій въ сношеніяхъ съ знаменитѣйшими учеными Парижа, куда переехалъ въ 1631 году, старался дать сыну блестящее образованіе. Паскаль шестнадцати лѣтъ написалъ трактатъ о коническихъ сѣченіяхъ, заслужившій большую похвалу Декарта. При усиленныхъ умственныхъ занятіяхъ онъ отличался слабымъ здоровьемъ. Его главные труды въ математикѣ—сочиненіе о пиклоидахъ, рѣшеніе вопросовъ по теоріи

указавшимъ начало распространенія давленія въ жидкой массѣ, составляющее главное основаніе механики жидкихъ тѣлъ.

§ 51. Опыты Паскаля надъ давленіемъ жидкости на дно сосуда. „Прикрѣпимъ, говоритъ Паскаль, къ стѣнѣ нѣсколько сосудовъ, одинъ въ родѣ изображеннаго на фиг. 70, другой наклонный какъ на фиг. 71, третій широкій фиг. 72, четвертый узкій какъ фиг. 73, наконецъ пятый (фиг. 74), который есть не что иное какъ тонкая трубка



Фиг. 70. Фиг. 71. Фиг. 72. Фиг. 73. Фиг. 74.

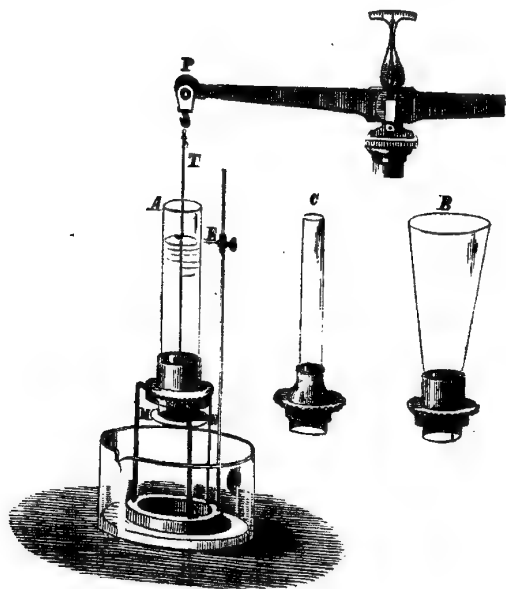
оканчивающаяся внизу расширеніемъ небольшой высоты. Наполнимъ сосуды эти водою до одинаковой высоты, и пусть нижнія ихъ отверстія будутъ закрыты пробками. Опытъ показываетъ что при одинаковой вы-

соте и теорія вѣроятностей, арифметическая машина, по Физикѣ—ученіе о давленіи жидкихъ тѣлъ и о давленіи атмосферы (опытъ восхожденія на гору съ барометромъ). Умеръ 30 лѣтъ въ 1662 году. Изъ сочиненій изданныхъ при жизни Паскаля особенно много произвели шуму его письма *Les Provinciales* противъ Янсенистовъ, жившія множество изданій; сочиненіе *Les Pensees sur la religion* издано послѣ смерти, какъ и трактатъ о давленіи.

сотѣ жидкости во всѣхъ этихъ сосудахъ потребна одинакая сила чтобы удержать пробки и не позволить имъ выйти, хотя количество воды въ разныхъ сосудахъ весьма различно. Мѣра этой силы есть вѣсъ воды, содержащейся въ первомъ сосудѣ: если заключающаяся въ немъ вода вѣситъ сто фунтовъ, то потребна сила во сто фунтовъ, чтобы удержать каждую изъ пробокъ и даже пробку пятого сосуда, хотя вода въ немъ заключающаяся вѣситъ, можетъ быть, одну унцію. Чтобы оправдать это положеніе точнымъ образомъ, закроемъ отверстіе пятого сосуда круглымъ кускомъ дерева, облеченнаго паклей какъ поршень насоса, и сдѣлаемъ такъ чтобы этотъ кусокъ ровно приходился по отверстію, не держась въ немъ, но въ то же время не позволяя водѣ выходить. Прикрѣпимъ къ срединѣ такого поршня нить, которую, проведя чрезъ узкій сосудъ, привѣсимъ къ плечу вѣсовъ, обременивъ другое плечо грузомъ во сто фунтовъ. Увидимъ, что этотъ грузъ во сто фунтовъ останется въ равновѣсіи съ водою сосуда вѣсящей одну унцію. Если положимъ хотя нѣсколько меньше ста фунтовъ, вѣсъ воды тотчасъ опуститъ поршень и плечо вѣсовъ, къ которому онъ привязанъ, и приподыметъ плечо обремененное грузомъ. Между тѣмъ, еслибы эта вода замерзла, но такъ что ледъ не присталъ бы къ сосуду (обыкновенно онъ и не пристаетъ), то другое плечо достаточно бы было обременить грузомъ въ одну унцію чтобы уравновѣсить вѣсъ льда. Но тогда стоило бы приблизить огонь къ сосуду и растопить ледъ, какъ тотчасъ потребовался бы грузъ во сто фунтовъ, чтобы уравновѣсить дѣйствіе растопленнаго льда, хотя вѣсъ его предполагается въ одну унцію.

Въ маломъ видѣ опытъ Паскаля можно повторить съ слѣдующимъ снарядомъ. Сосудъ (фиг. 75) покоится на металлическомъ треножникѣ; въ его нижнему открытому отверстію, котораго края ровно отшлифованы, прикладывается подвижное дно,

состоящее изъ плоскаго стекляннаго кружечка, удерживаемаго на нити привѣшенной къ коромыслу вѣсовъ. Грузъ, положенный

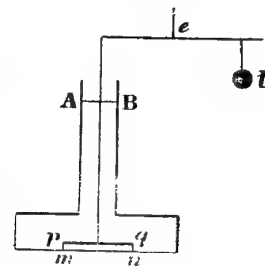


Фиг. 75.

на другую чашку вѣсовъ, прижимаетъ кружочекъ къ отверстию, которое такимъ образомъ плотно закрывается. Осторожно наливая воды въ сосудъ до тѣхъ поръ, пока дно, не выдерживая давления сверху внизъ, станетъ отдѣляться, и у нижняго края появятся капли жидкости. Понятно, что въ этотъ моментъ давление на дно равняется той силѣ, которая прижимаетъ дно къ отверстию, и которая измѣряется величиною груза, положеннаго на чашку вѣсовъ. Можно убѣдиться, что въ случаѣ столба жидкости, заключающагося въ этомъ сосудѣ. Замѣнивъ цилиндрической сосудъ послѣдовательно сосудами различной формы, но которыхъ нижнее отверстие одинаково, убѣдимся, что стеклянный кружочекъ будетъ отдѣляться въ тотъ моментъ, когда жидкость достигнетъ того же уровня (обозначаемого показателемъ E), какъ и въ случаѣ цилиндрическаго сосуда.

Фиг. 76 изображаетъ опытъ въ той формѣ какъ его производилъ и описалъ Стевинъ, прикрывавшій отверстие деревяннымъ кружкомъ pq .

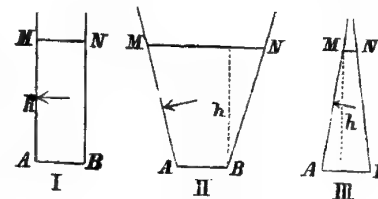
Итакъ давление на дно не зависитъ отъ формы сосуда, а зависитъ только отъ площади дна и его разстоянія отъ уровня жидкости. Будучи въ сосудахъ разнообразной формы, но равнаго дна, одинаково съ вертикальнымъ цилиндромъ, гдѣ все количество жидкости давитъ на дно, оно равняется *вѣсу столба жидкости*



Фиг. 76.

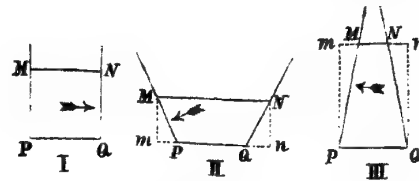
котораго основаніе есть дно сосуда, а высота — разстояніе дна отъ уровня.

Такимъ образомъ давление на дно въ сосудахъ I, II, III, имѣющихъ (фиг. 77) равное дно AB, одинаково, не смотря на то что количество помѣщающейся въ каждомъ изъ нихъ жидкости различно.



Фиг. 77.

Но отсюда не слѣдуетъ, чтобы взвѣшивая на вѣсахъ данное количество жидкости, мы получали различный вѣсъ, смотря потому, какова форма сосуда, въ которомъ производится взвѣшивание. Помѣщая на чашку вѣсовъ сосуды, I, II, III, (фиг. 78)

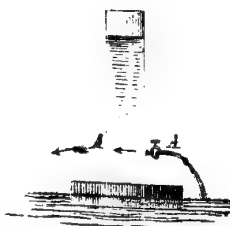


Фиг. 78.

съ налитымъ въ каждый вилограммомъ воды, мы получимъ для вѣса заключающейся въ нихъ жидкости одинаковую величину, равную ея истинному вѣсу, несмотря на то что давление на дно въ этихъ трехъ сосудахъ будетъ весьма неодинаково, такъ

какъ то же количество жидкости наполнить ихъ до разной высоты. Но не должно забывать что, кромѣ давленія на дно, жидкость производитъ давленіе на стѣнки сосуда. Это давленіе въ случаѣ сосуда III направлено наклонно снизу вверхъ, и даетъ слагающую, которая дѣйствуетъ противоположно давленію на дно и уменьшаетъ дѣйствіе послѣдняго на чашку вѣсовъ. Въ случаѣ сосуда II давленіе на боковыя стѣнки, дѣйствующее сверху внизъ, прибавляется къ давленію на дно, такъ что общее давленіе равняется вѣсу наполняющей сосудъ жидкости. Въ цилиндрическомъ сосудѣ боковыя давленія горизонтальны; слѣдовательно, не стремятся ни поднимать, ни опускать сосудъ, и не имѣютъ вліянія на величину вертикальнаго давленія.

§ 52. Давленіе на стѣнки сосуда. Давленіе жидкости обнаруживается не только на днѣ, но и въ каждомъ мѣстѣ сосуда лежащемъ ниже уровня жидкости, какъ уже было упомянуто въ § 43. Давленія на стѣнки сосуда уничтожаются взаимно. Это можно доказать, помѣстивъ сосудъ на поплавкѣ или на колесахъ. Еслибы давленіе въ какую-нибудь сторону преобладавало, то, очевидно, сосудъ пришелъ бы въ движеніе въ сторону большаго давленія. Между тѣмъ опытъ показываетъ что онъ остается въ покоѣ. Но если въ одной изъ стѣнокъ (фиг. 79) сдѣлать отверстіе, то равновѣсіе давленій нарушится. Давленіе на стѣнку гдѣ нѣтъ отверстія, преобладаетъ, и весь сосудъ отступаетъ въ сторону противоположную истеченію.



Фиг. 79.

Если сосудъ, изъ котораго вытекаетъ струя, повѣшенъ на нити (фиг. 80), то, вслѣдствіе боковаго давленія сосудъ уклоняется отъ отвѣснаго направленія нити AC.

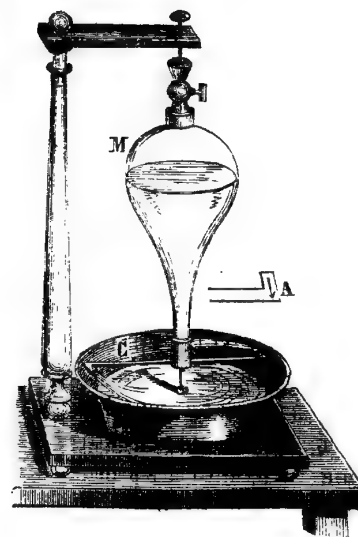
Снарядъ, носящій названіе *Сегнерова* *) колеса, основанъ на томъ же началѣ. Это сосудъ, наполненный

*) Сегнеръ, извѣстный математикъ и физикъ, родился 1704 г., умеръ 1777; былъ профессоромъ въ Геттингенскомъ и другихъ университетахъ.

водою и вращающійся около вертикальной оси (фиг. 81). При его основаніи находятся двѣ или нѣсколько горизонтальныхъ загнутыхъ въ одну сторону трубокъ. Какъ скоро вода вытекаетъ изъ отверстій трубокъ, то своимъ противодѣйствіемъ она заставляетъ



Фиг. 80.



Фиг. 81.

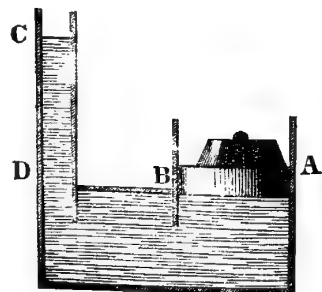
эти трубки отступать, а снарядъ вращаться около вертикальной оси.

Замѣтимъ еще что при истеченіи газообразныхъ тѣлъ также обнаруживается противодѣйствіе, какъ и при истеченіи жидкихъ. Пушка отступаетъ въ сторону противоположную направленію выстрѣла, ружье ударяетъ въ плечо стрѣляющаго; ракета поднимается вверхъ вслѣдствіе давленія, какое испытываетъ ея верхняя закрытая стѣнка, тогда какъ чрезъ нижнее отверстіе вытекаетъ струя воспламененнаго вещества.

§ 53. Общее начало распространія давленія въ жидкой массѣ, выведенное Паскалемъ и объясняющее различные случаи давленія жидкостей. Для объясненія изъ одного общаго начала различныхъ случа-

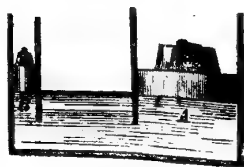
евъ давленія жидкостей мы должны различать: 1) жидкость какъ тѣло *давящее* своимъ вѣсомъ и 2) жидкость какъ тѣло *передающее* давленіе и которое сохранило бы это свойство, если бы и не имѣло вѣса. Въ слѣдующей формѣ опыта, указанной Паскалемъ, два эти обстоятельства выступаютъ на видѣ яснаго чѣмъ въ описанныхъ выше.

„Возьмемъ, говоритъ онъ, сосудъ закрытый со всѣхъ сторонъ и сдѣлаемъ въ немъ вверху два отверстія, одно очень узкое, другое широкое. Припаемъ трубки той же ширины какъ отверстіе (фиг. 82). Помѣстивъ поршень въ широкое отверстіе и наливъ воды въ узкое, увидимъ что на поршень надо положить большой грузъ для того чтобы вода узкой трубки не подвинула его вверхъ.“ Здѣсь, въ узкой трубкѣ давитъ вѣсъ маленькой колонны жидкости, въ широкой—грузъ лежащій на поршнѣ. Жидкость сосуда



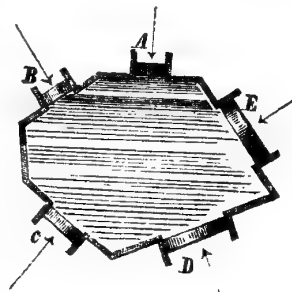
Фиг. 82.

да служить для взаимной передачи давленій и подобно рычагу съ неравными плечами *уравновѣшиваетъ* большой грузъ малымъ вѣсомъ колонны воды въ узкой трубкѣ. Въмѣсто воды могли бы въ узкой трубкѣ помѣстить поршень съ малымъ грузомъ (фиг. 83), и имѣли бы простѣйшій случай равновѣсія давленій при помощи жидкой массы. Въ этихъ опытахъ жидкость сосуда участвуетъ очевидно только какъ среда передающая давленіе, и явленіе было бы тоже самое если бы она сама по себѣ не имѣла вѣса. Разница



Фиг. 83.

лишь въ томъ что въ такомъ случаѣ не было бы надобности помѣщать отверстія на верху сосуда. Потому можно сказать вообще: если на какую нибудь часть жидкости заключенной въ замкнутомъ со всѣхъ сторонъ сосудѣ (фиг. 84), производится извнѣ внутрь давленіе, котораго величина, приведенная къ единицѣ поверхности, выражается какимъ нибудь вѣсомъ p , то вся поверхность сосуда испытываетъ давленіе по направленію изнутри, и притомъ такъ что каждой единицѣ поверхности соответствуетъ давленіе равное p . Другими словами, это можно выразить такъ: давленіе на одну часть жидкости распространяется во всѣ стороны безъ потери.



Фиг. 84.

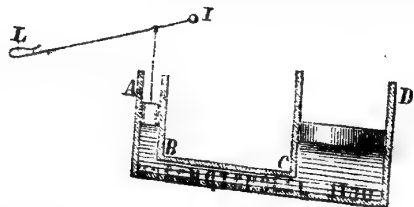
§ 54. Жидкость разсматриваемая какъ машина передающая давленіе. „Такимъ образомъ, говоритъ Паскаль, сосудъ съ водою есть какъ бы новый принципъ механики, новая машина для умноженія силы до какой угодно степени. Этимъ средствомъ человекъ можетъ поднять какой угодно грузъ. Замѣчательно что и въ этой машинѣ соблюдается общее правило, какъ у старыхъ: рычага, ворота, безконечнаго винта, то есть что путь (проходимый побѣждающимъ препятствіемъ двигателемъ) увеличивается въ той же пропорціи какъ сила *). Дѣйствительно, если одно отверстіе во сто, напримѣръ, разъ болѣе другаго, то ясно что человекъ толкающій малый поршень опуститъ его на дюймъ въ то время какъ большой поднимется лишь на сотую долю дюйма, ибо передача дав-

*) Правило это для рычага указано въ § 12.

ленія происходитъ вслѣдствіе непрерывности массы воды соединяющей два поршня, изъ коихъ одинъ не можетъ двинуться не перемѣщая другого; а когда малый поршень подвинется на дюймъ, вода которую онъ вытѣсняетъ, перейдя въ каналъ во сто разъ болѣе широкій, займетъ лишь сотую долю высоты... Въ этомъ и истинная причина дѣйствія, ибо ясно что одно и тоже заставить сто фунтовъ воды пройти одинъ дюймъ, или одинъ фунтъ—сто дюймовъ.“

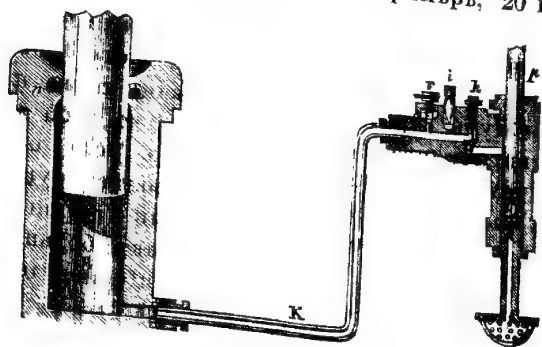
§ 55. Гидравлическій прессъ. Идея Паскаля о машинѣ, дѣйствующей гидростатическимъ давленіемъ, была осуществлена въ послѣдствіи подъ именемъ гидравлическаго пресса, употребляемаго для сжатія тѣлъ.

Если при помощи рычага (фиг. 85) производить на поршень



Фиг. 85.

помѣщенный при поверхности жидкости въ колѣнѣ АВ, котораго сѣченіе, положимъ, въ 100 разъ менѣе сѣченія колѣна CD, давленіе нѣсколько превышающее, напримѣръ, 20 килограм-

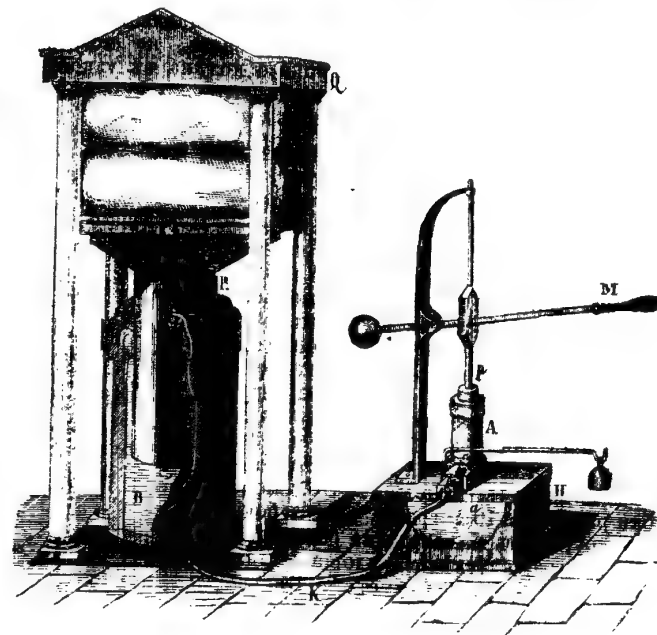


Фиг. 86.

мовъ, то это давленіе, по закону Паскаля, въ состояніи будетъ поднять грузъ равный $20 \times 100 = 2000$ килограммъ, положенный на поршень въ широкомъ колѣнѣ.

При осуществленіи такого опыта на практикѣ встрѣчается одно важное затрудненіе, а именно поршень долженъ столь плотно входить въ широкое колѣно, что, несмотря на значительное давленіе, вода не должна проникать между поршнемъ и стѣнками. Это затрудненіе было устранено въ началѣ нынѣшняго столѣтія англійскимъ механикомъ Брама (Bramah).

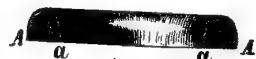
Фиг. 86 и 87 представляютъ изображеніе и разрѣзъ гидра-



Фиг. 87.

влическаго пресса. Поршень состоящій изъ металлическаго цилиндра надавливаетъ на жидкость узкаго колѣна помощію рычага М, и гонитъ ее чрезъ трубку К въ широкое цилиндрическое колѣно, въ которомъ находится поршень Р. На верхнюю платформу поршня Р помѣщаются предметы, назначенные для сжатія. Чтобы вода не могла просачиваться между стѣнками цилиндра и тѣломъ поршня, вокругъ верхней части этого послѣдняго проходитъ каналъ, въ который вкладывается

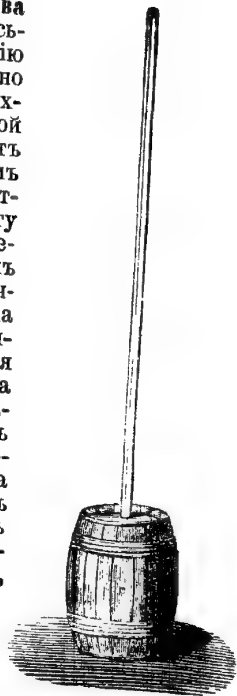
кожаная оправа, имѣющая форму кольцеобразнаго жолоба aa (фиг. 88). Край aa этого жолоба касается поршня, край aa —стѣнокъ. Вода проникаетъ подъ сводъ этого жолоба, прижимаетъ его края къ поршню и стѣнкамъ, и такимъ образомъ тѣмъ сильнѣе закрываетъ промежутокъ между ними, чѣмъ значительнѣе давленіе.



Фиг. 88.

Чтобы можно было надавливаніе повторить много разъ, перетоня всякій разъ воду изъ узкаго колѣна въ широкое, устроены два клапана, одинъ при началѣ трубки K , другой P идетъ вверхъ, клапанъ трубки, закрываясь, не позволяетъ водѣ двинуться обратно изъ широкаго колѣна въ узкое; клапанъ же при основаніи открывается и узкое колѣно, дѣйствуя какъ насосъ, вбираетъ воду изъ резервуара a .

§ 56. Импрѣ значительнаго давленія помощью небольшого количества жидкости. Слѣдующій старый опытъ весьма наглядно показываетъ, какъ помощью небольшого количества жидкости можно произвести огромное давленіе. Въ верхней доскѣ (фиг. 89) бочки, наполненной водою, дѣлаютъ отверстіе и укрѣпляютъ трубку съ незначительнымъ внутреннимъ диаметромъ (напримѣръ въ $\frac{1}{2}$ сантиметра), но весьма длинную. Тогда, если эту трубку наполнить водою, гидростатическое давленіе на дно, стѣнки и вверхъ бочки будетъ такъ значительно, что бочка можетъ лопнуть. Положимъ, что длина трубки равняется 10 метрамъ, высота бочки 1 метру, пусть диаметръ два равняется 60 сантиметрамъ (слѣдов. площадь дна будетъ около 0,28 квадр. метр.). Въ такомъ случаѣ дно будетъ выдерживать давленіе столба жидкости, котораго основаніе есть 0,28 квадр. метр., а высота 11 метровъ. Такой столбъ воды вѣситъ болѣе 3000 килограммовъ. Почти столь же значительное давленіе будутъ испытывать стѣнки бочки и верхняя доска, послѣдняя снизу вверхъ.

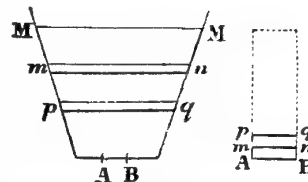


Фиг. 89.

§ 57. Приложение принципа Паскаля къ объясненію различныхъ случаевъ давленія жидкостей. Открытый

Паскалемъ принципъ распространенія давленія полагается въ основаніе объясненія всѣхъ различныхъ случаевъ давленія жидкостей. Приложимъ его, напримѣръ, къ объясненію давленія на дно въ описанномъ выше случаѣ (фиг. 74 на стр. 58) узкой трубки расширяющейся внизу, въ которой слѣдовательно жидкость производитъ давленіе на дно превышающее ея вѣсъ. Въ этомъ случаѣ, говоритъ Паскаль, „основаніе трубки, широкое и невысокое, есть какъ бы сосудъ наполненный водою и имѣющій два отверстія, одно внизу гдѣ поршень—широкое, другое вверхъ гдѣ узкая часть трубки—малое.“ На малое отверстіе давить сверху вода узкой части, на широкое снизу поршень влекомый уравнивающимъ его грузомъ. Имѣемъ случай подобный изображенному на фиг. 82. То обстоятельство что въ разбираемомъ случаѣ одно отверстіе вверхъ другое внизу, а не оба на одной сторонѣ какъ на фиг. 82,— не измѣняетъ заключенія.

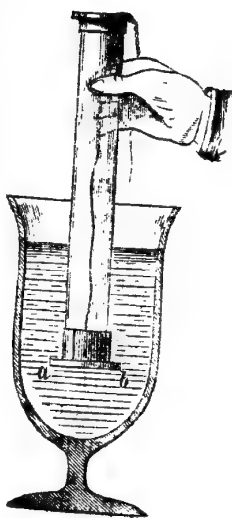
Вообще въ сосудѣ (фиг. 90) наполненномъ жидкостью, каждый слой pq давитъ какъ поршень вѣсъ котораго равенъ вѣсу жидкости заключающейся въ слой и который дѣйствуетъ черезъ отверстіе равное сѣченію слоя. Давленіе передается черезъ остальную жидкость дну и стѣнкамъ лежащимъ ниже уровня pq и дѣйствуетъ на какую-нибудь, напримѣръ, часть дна AB пропорціонально отношенію площадей AB и pq . Такимъ образомъ давленіе испытываемое площадью AB будетъ таково какъ если бы на ней непосредственно лежалъ слой жидкости толщиною равный толщинѣ слоя pq . Такъ всякій другой слой mn . Вообще площадь AB испытываетъ давленіе равное вѣсу столба жидкости, котораго основаніе есть AB , а высота разстояніе AB отъ уровня.



Фиг. 90.

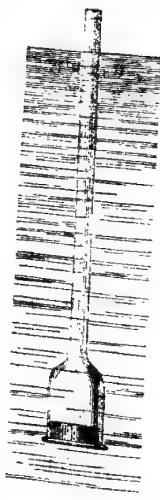
§ 58. Давленіе жидкости на погруженные тѣла. Опытъ Стевина относительно давленія снизу вверхъ. Опускаютъ въ сосудъ съ водою широкую трубку (фиг. 91), закрывъ ея нижнее отверстіе стекляннымъ

кружкомъ *ab*. Какъ скоро трубка опущена въ воду, нѣтъ надобности поддерживать кружокъ, закрывающій нижнее отверстіе. Онъ не падаетъ, пбо поддерживается давлениемъ жидкости снизу вверхъ. Наплавая мало - по - малу воды въ трубку, можно убѣдиться что кружокъ отдѣлится и начнетъ упадать только тогда, когда вода въ трубкѣ достигнетъ приблизительно того же уровня, какъ и въ самомъ сосудѣ. Отсюда слѣдуетъ что поверхность кружка претерпѣваетъ снизу давленіе, равное вѣсу столба жидкости, которому кружокъ служить основаніемъ и котораго высота равняется разстоянію кружка отъ уровня жидкости.

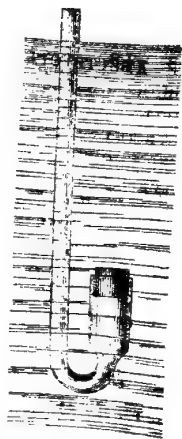


Фиг. 91.

§ 59. Давленіе жидкости на погруженный тѣла. Опыты Паскаля. Паскаль бралъ трубку (фиг. 92) длиною до 20 футовъ и впагалъ въ ея нижнее расширенное отверстіе мѣдный цилиндръ *CD* точно пришлифованный, такъ что онъ не пропускалъ воды, хотя и входилъ свободно. Цилиндръ этотъ не падалъ когда трубка была опущена въ рѣку, такъ что конецъ ея былъ въ водѣ. Здѣсь



Фиг. 92.

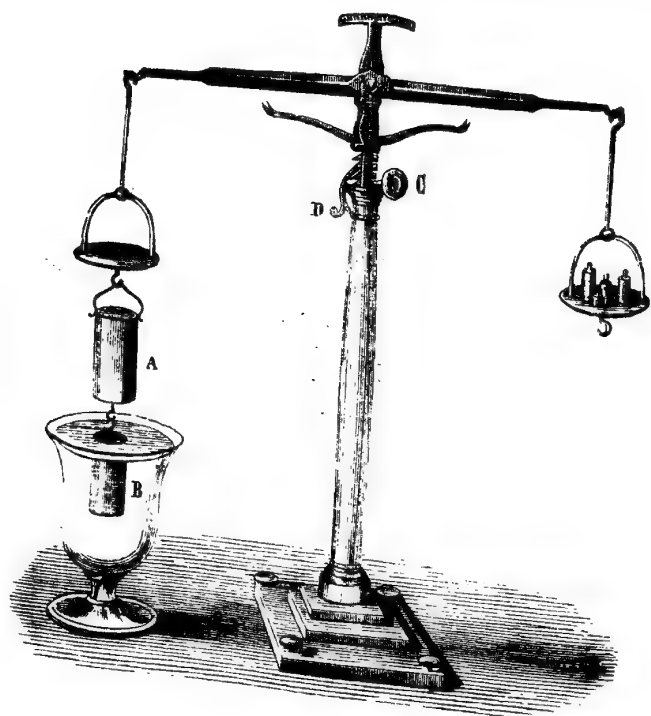


Фиг. 93.

вода давитъ на цилиндръ снизу какъ въ опытѣ Стевина. Взявъ трубку загнутую какъ на фиг. 93, Паскаль закрывалъ ея отверстіе свободно входившимъ, но не пропускавшимъ воды *деревяннымъ* цилиндромъ, по легкости стремившимся подняться вверхъ. Когда такая трубка опущена въ воду, *деревянный* цилиндръ плотно закрываетъ отверстіе и не только не подымается вверхъ, а испытываетъ, напротивъ, *сверху* *снизу* значительное давленіе. Сдѣлавъ трубку такъ, чтобъ отверстіе было съ боку, можно доказать существованіе давленія съ боковъ.

§ 60. Законъ Архимеда. „И такъ, говоритъ Паскаль, вода давитъ вверхъ тѣла, къ которымъ прикасается снизу, давитъ внизъ тѣ которыхъ касается сверху, давитъ въ бока тѣ которыхъ касается съ боковъ. Отсюда легко заключить что когда все тѣло погружено въ воду, то она, касаясь его и сверху, и снизу, и съ боковъ, давитъ на него сверху, снизу и съ боковъ. И такъ какъ высота воды есть мѣра силы ея давленія, то легко видѣть какое изъ этихъ дѣйствій должно превозмочь. Ясно во-первыхъ что вода, имѣя равную высоту надъ сторонами тѣла съ его боковъ, давитъ на нихъ одинаково, и тѣло не стремится двигаться ни въ ту, ни въ другую сторону, какъ флюгеръ между двумя равными вѣтрами. Но какъ вода имѣетъ больше высоты надъ нижней стороной тѣла, чѣмъ надъ верхней, то ясно, что она гонитъ тѣло снизу вверхъ. И такъ какъ разность высотъ воды есть высота самого тѣла, то легко понять, что вода гонитъ тѣло снизу вверхъ съ силою равною вѣсу одинаковаго съ тѣломъ объема воды“. Этотъ законъ открытъ былъ еще Архимедомъ и выраженъ въ такой формѣ: *всякое тѣло погруженное въ жидкость теряетъ столько сколько вѣситъ вытѣсняемый имъ объемъ жидкости*. Оправдать этотъ законъ можно слѣдующимъ опытомъ.

Берутъ два мѣдныхъ цилиндра (фиг. 94). Одинъ *В* массивный; другой *А* полый, представляющій собою цилин-



Фиг. 94.

рический сосудъ, вмѣстимостью равный объему цилиндра *В*, такъ что этотъ послѣдній, будучи вставленъ въ *А*, занимаетъ весь его внутренний объемъ.

Привѣсивъ къ чашкѣ вѣсовъ цилиндръ *А* и подвѣсивъ къ чашкѣ вѣсовъ цилиндръ *В*, приводятъ вѣсы въ равновѣсіе, положивъ приличный грузъ на вторую чашку. Подставляють сосудъ съ водою, такъ чтобы цилиндръ *В* былъ весь погруженъ въ воду. Равновѣсіе нарушается и перевѣшиваетъ чашка съ грузомъ. Но если наполнить водою цилиндръ *А*, то равновѣсіе

опять возстановится. И такъ какъ вмѣстимость цилиндра *А* равняется объему погруженного цилиндра *В*, то видимъ что потерянный этимъ послѣднимъ вѣсъ равенъ вѣсу одинаковаго съ нимъ объема жидкости.

Если тѣло, погружаясь въ жидкость, теряетъ часть своего вѣса, то жидкость приобретаетъ этотъ потерянный вѣсъ, и погружить тѣло въ жидкость значитъ то же, что прибавить равный этому тѣлу новый объемъ жидкости. Поставивъ стаканъ съ водою на чашку вѣсовъ и приведя ихъ въ равновѣсіе, погружаемъ въ него цилиндръ *В*, держа нить, на которой онъ виситъ, въ рукахъ или прикрѣпивъ ее къ неподвижному препятствію. Чашка вѣсовъ гдѣ находится стаканъ тотчасъ перевѣситъ, но чтобы возстановить равновѣсіе, достаточно взять изъ стакана столько воды сколько ей нужно для наполненія цилиндра *А*. Такимъ образомъ такъ-называемая потеря вѣса при погруженіи тѣла въ жидкость, не есть абсолютная потеря. Потеря вѣса происходитъ оттого, что жидкость давитъ на тѣло снизу вверхъ и поддерживаетъ его; но тѣло въ свою очередь давитъ на поддерживающую его жидкость сверху внизъ.

Вѣсы, служащія для этихъ опытовъ, называются *гидростатическими*. Ихъ коромысло можно повышать и понижать и въ чашкѣ удобно привѣшивать тѣла.

§ 61. Слѣдствія закона Архимеда. Плаваніе тѣлъ.

„Погруженное въ жидкость тѣло, говоритъ Паскаль, вслѣдствіе ея давленія поддерживается такъ какъ если бы оно было на чашкѣ вѣсовъ, которыхъ другая чашка обременена объемомъ жидкости, равнымъ объему тѣла. Отсюда слѣдуетъ что если тѣло изъ мѣди или другого матеріала болѣе тяжелаго чѣмъ вода, при томъ же объемѣ, то оно падаетъ въ водѣ, ибо вѣсъ его превышаетъ тотъ который стремится его уравновѣсить. Если тѣло изъ дерева или другого матеріала болѣе легкаго чѣмъ вода, при томъ же объемѣ, то оно поднимается вверхъ съ тою силою какою вѣсъ воды превышаетъ его вѣсъ. Если оно вѣситъ столько же сколько вода, то не опускается и не подымается, какъ воскъ, который приблизительно остается въ водѣ тамъ гдѣ его помѣстятъ *). Отсюда же слѣдуетъ что бадью

*) Подобный случай можно также осуществить, погружая яйцо въ растворъ обыкновенной соли. Яйцо въ чистой водѣ идетъ ко дну; въ густомъ соленомъ растворѣ оно плаваетъ на поверхности.

олоднее легко тянуть пока она въ водѣ, но вѣсъ ея тотчасъ даетъ себя чувствовать, когда она начинаетъ выходить изъ воды... Два тѣла, одно изъ мѣди, другое изъ свинца, равнаго вѣса и слѣдовательно неодинаковаго объема (надо болѣе мѣди чтобы получить тотъ же вѣсъ) остаются въ равновѣсїи, будучи положены на чашки вѣсовъ; но если погрузить вѣсы въ воду, то равновѣсїе сейчасъ нарушится, ибо каждое тѣло имѣетъ противувѣсъ въ равномъ себѣ объемѣ воды, а какъ объемъ мѣди больше объема свинцу, то и противувѣсъ ея больше, а потому свинецъ перетянетъ. Когда человекъ погруженъ въ воду, вода давитъ на него и сверху и снизу, но онъ вѣситъ болѣе чѣмъ вода и потому опускается внизъ хотя не такъ скоро какъ падаетъ въ воздухѣ: въ водѣ ему служить противувѣсомъ вѣсъ равнаго объема воды, почти одинаковый съ вѣсомъ его тѣла. Если бы вѣса эти были со- всѣмъ одинаковы, то человекъ плавалъ бы. Давая ударъ о землю или дѣлая нѣкоторыя усилія противъ воды, онъ подымается и плаваетъ... По той же причинѣ человекъ погруженный въ ванну безъ труда поднимаетъ руку, пока она въ водѣ, но выйдя изъ воды чувствуетъ что она вѣситъ много, ибо нѣтъ болѣе противувѣса отъ равнаго ей объема воды, какъ было пока она была погружена. Наконецъ, тѣло которое *плаваетъ* на водѣ располагается при ея поверхности такъ что одна часть его остается погруженною въ жидкость, другая внѣ ея. Погруженная часть вытѣсняетъ ровно такое количество жидкости, котораго вѣсъ равенъ вѣсу всего плавающего тѣла. При этомъ, по выраженію Архимеда, „погруженный

сти. Прибавляя постепенно соли въ чистой водѣ, можно получить растворъ такой густоты, что яйцо будетъ вѣсить ровно столько, сколько вѣситъ равный ему объемъ раствора. Внутри такого раствора яйцо не будетъ ни тонуть, ни подниматься вверхъ, но останется въ равновѣсїи, гдѣ бы его ни помѣстили. Того же можно достигнуть съ масломъ, погруженнымъ въ смѣсь спирта и воды (опыты бельгійскаго ученаго Плато).

объемъ во столько разъ менѣе всего объема тѣла, во сколько вѣсъ тѣла менѣе вѣса равнаго ему объема воды“ (это отношеніе выражаетъ плотность).

Выпуклая свинцовая чашка, прибавляетъ, Паскаль „плаваетъ на водѣ потому что занимаетъ много мѣста въ водѣ вслѣдствіе своей фигуры, но если бы это былъ массивный кусокъ, то онъ занималъ бы въ водѣ только мѣсто равное объему своего вещества, а вѣсъ такого объема воды не могъ бы его уравни- вѣсить“.

Можно на поверхность воды положить иголку такъ, что она не потонетъ, а останется на поверхности, какъ тѣло плавающее. Чтобы этотъ опытъ удался, должно взять сухую иголку, провести ее вѣсколько разъ между пальцами и осторожно положить на воду. Когда иголка проходитъ между пальцами, она покрывается тонкимъ слоемъ жирнаго вещества и потому будучи положена на воду, не смачивается ею. Повинуясь тяжести, она начинаетъ опускаться и образуетъ вокругъ себя пониженіе жидкости, такъ какъ эта послѣдняя ее не смачиваетъ. Чрезъ это образуется углубленіе такой величины, что количество воды, которое можетъ въ немъ помѣститься, равняется вѣсу иголки. Иголка плаваетъ.

§ 62. Давленіе испытываемое погруженными тѣлами и живыми существами на различныхъ глубинахъ. Чѣмъ глубже погруженное тѣло находится внутри жидкости, тѣмъ сильнѣе давленіе, испытываемое каждымъ элементомъ его поверхности, ибо тѣмъ длиннѣе давящій столбъ жидкости. Въ глубинахъ моря это давленіе достигаетъ значительной величины, и погруженное тѣло бываетъ сжато со всѣхъ сторонъ съ огромною силой *). Тѣмъ не менѣе рыбы живутъ на значительной глубинѣ, доходящей до нѣсколькихъ тысячъ метровъ, не испытываютъ неудобствъ отъ давленія воды и движутся во всѣ стороны съ большою живостію. При-

*) Не должно забывать что, общій результатъ этого давленія, сила отъ которой зависитъ пойдеть ли тѣло внизъ или будетъ подниматься вверхъ—всегда будетъ равна вѣсу вытѣсненной жидкости; а такъ какъ жидкости вообще сжимаются весьма мало, то вѣсъ опредѣленнаго объема жидкости при поверхности и въ глубинѣ будутъ мало разниться.

чина почему животные въ водѣ не чувствуютъ ея давленія, дѣйствующаго равно со всѣхъ сторонъ, заключается въ томъ что они внутри сами проникнуты жидкостями, которые сопротивляются давленію внѣшней воды, такъ что ткани животного извѣняются не болѣе того какъ измѣнилась бы какая-нибудь тонкая пленка опущенная въ эту глубину. Для поясненія этого предмета Паскаль сдѣлалъ слѣдующій опытъ. „Возьмемъ, говоритъ онъ, стеклянную трубку, закрытую снизу и до половины наполненную водою, въ которую пустимъ муху (муха въ теплой водѣ можетъ жить какъ въ воздухѣ) и помѣстимъ въ трубку поршень, такъ чтобы онъ достигалъ поверхности воды. Если станемъ нажимать поршень съ какою угодно силою, налагая, напримѣръ, на него сверху грузы въ большомъ количествѣ, то надавливаемая вода будетъ давить на все въ ней находящееся. Муха не почувствуетъ никакой боли подъ этимъ сильнымъ давленіемъ, ибо мы увидимъ ее прогуливающуюся съ свободою и живостію вдоль стекла; и она улетитъ какъ скоро освободимъ ее изъ этой темницы.“

§ 63. Приложение закона Архимеда къ опредѣленію плотности помощью гидростатическихъ вѣсовъ. Привѣшиваютъ тѣло къ чашкѣ вѣсовъ на тонкой нити и приводятъ коромысло въ равновѣсіе, положивъ на другую чашку приличный грузъ. Подставивъ стаканъ, погружаютъ тѣло въ воду. Равновѣсіе нарушается, и для возобновленія его должно на чашку къ которой привѣшено тѣло, прибавить опредѣленное количество разновѣсковъ, которое и покажетъ вѣсъ объема воды, равнаго объему тѣла. Раздѣливъ этотъ вѣсъ на вѣсъ тѣла, опредѣлимъ плотность этого послѣдняго.

Еслибы мы хотѣли узнать плотность какой-либо жидкости, то погрузивъ одно и то же тѣло послѣдовательно въ воду и въ изслѣдуемую жидкость, опре-

дѣляемъ потерю его вѣса въ водѣ и въ жидкости. Пусть въ водѣ тѣло теряетъ вѣсъ P , въ жидкости P' . отношение $\frac{P'}{P}$ выразитъ плотность изслѣдуемой жидкости.

§ 64. Опредѣленіе плотности тѣлъ помощью ареометровъ съ постояннымъ объемомъ. Ареометръ Фаренгейта. — Ареометръ съ постояннымъ объемомъ есть снарядъ который, будучи опущенъ въ жидкость, погружается въ ней, при помощи налагаемаго груза большей или меньшей величины, всегда на одинаковую часть своего объема. Такой ареометръ былъ устроенъ Фаренгейтомъ *) (1724 г.). Ареометръ Фаренгейта (фиг. 95) изъ стекла и назначается для опредѣленія плотности жидкостей. Въ нижнюю часть наливаютъ ртути для того, чтобы весь инструментъ держался въ жидкости въ вертикальномъ положеніи. Верхняя часть состоитъ изъ узкаго ствола, имѣющаго отмѣтку, до которой снарядъ долженъ погружаться. На верху находится чашечка, на которую можно помѣстить прибавочный грузъ. Вѣсъ всего снаряда соразмѣренъ такъ, что онъ безъ прибавочнаго груза ни въ одной изъ жидкостей для опредѣленія плотности которыхъ назначается, не погружается до отмѣтки.



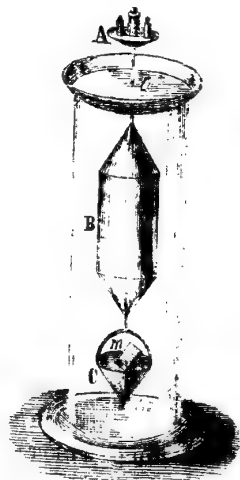
Фиг. 95.

Прежде всего опредѣляютъ вѣсъ самаго ареометра, потомъ погружаютъ его въ воду и опредѣляютъ, какой вѣсъ должно положить на верхнюю чашку для того, чтобы снарядъ погрузился ровно до отмѣтки. Положимъ, напримѣръ, что вѣсъ ареометра равняется

*) Фаренгейтъ, ученый строитель физическихъ инструментовъ, родился въ Данцигѣ въ 1686 году. Онъ замѣнилъ ртутью спиртъ прежде употреблявшійся въ термометрахъ и ввелъ носящее его имя раздѣленіе термометрической скалы, принятое въ Англіи. Умеръ въ 1736 году.

30 граммъ, и что для погруженія его до отмѣтки въ водѣ должно прибавить на верхнюю чашку 10 граммъ. Понятно что, вѣсъ вытѣсняемаго ареометромъ объема воды (этотъ вѣсъ всегда равенъ вѣсу всего плавающего тѣла) будетъ 40 граммовъ. Положимъ что мы хотимъ опредѣлить плотность нѣкоторой жидкости. Погружаемъ ареометръ въ эту жидкость и опредѣляемъ, какой грузъ должно помѣстить на верхнюю чашку для того чтобъ ареометръ погрузился до отмѣтки. Положимъ что достаточно положить 2,76 граммовъ (такъ будетъ приблизительно, если жидкость есть спиртъ). Слѣдовательно вытѣсненный объемъ жидкости вѣситъ 32,76 граммовъ. Но опредѣленные такимъ образомъ вѣсы воды и вѣсы жидкости соответствуютъ тому же вытѣсненному объему, и слѣд. плотность жидкости получится, если раздѣлимъ ея вѣсъ на вѣсъ воды. Такимъ образомъ $32,76:40=0,819$ выражаетъ плотность жидкости, которая употреблялась при этомъ опытѣ.

§ 65. Ареометръ Никольсона. Ареометръ Никольсона *) (фиг. 96, представляющій собою видоизмѣненіе ареометра Фаренгейта, можетъ служить и для опредѣленія плотности твердыхъ тѣлъ. Этотъ инструментъ, удобный для употребленія при геологическихъ и минералогическихъ экскурсіяхъ, такъ какъ его легко переносить съ собою, дѣлается изъ металла и имѣетъ внизу чашечку, на которую можно положить испытуемое тѣло. Помощію этого снаряда плотность даннаго тѣла опредѣляется



Фиг. 103.

*) Англійскій химикъ и физикъ конца прошлаго и начала нынѣшняго столѣтія (род. 1753 г.). Первый (вмѣстѣ съ Карлейлемъ) наблюдалъ разложеніе воды гальваническимъ токомъ.

слѣдующимъ образомъ. Положимъ что для погруженія ареометра до отмѣтки въ водѣ должно на верхнюю чашку положить грузъ въ 20 граммовъ. Возьмемъ кусокъ испыдуемаго тѣла, такой величины, чтобъ его вѣсъ былъ менѣе 20 граммовъ. Понятно что, помѣстивъ такой кусокъ вмѣсто груза на верхнюю чашку, мы не въ состояніи будемъ погрузить ареометръ до отмѣтки: надо будетъ еще прибавить столько разновѣсковъ, чтобъ вѣсъ тѣла вмѣстѣ съ вѣсомъ разновѣсковъ составилъ 20 граммовъ. Пусть вѣсъ прибавленныхъ разновѣсковъ будетъ 4 грамма; въ такомъ случаѣ $20-4=16$ будетъ вѣсъ тѣла. Перекалдываемъ тѣло съ верхней чашки на нижнюю; тогда это тѣло, будучи погружено въ водѣ, теряетъ часть своего вѣса, именно столько, сколько вѣситъ равный ему объемъ воды. Чтобъ ареометръ опять погрузился до отмѣтки, должно на верхнюю чашку прибавить столько разновѣсковъ, чтобъ они вознаградили потерянный тѣломъ вѣсъ. Положимъ, напримѣръ, что на верхнюю чашку должно къ прежнимъ 4 граммовъ прибавить 7 граммовъ, и слѣд. помѣстить всего 11 граммовъ, дабы ареометръ погрузился до отмѣтки. Эти 7 грамм. обозначаютъ слѣдовательно вѣсъ объема воды равный объему тѣла. Итакъ плотность тѣла будетъ $16:7=2,3$. Понятно что чѣмъ тоньше узкій стволъ снаряда, тѣмъ снарядъ чувствительнѣе. Но не должно думать, чтобъ этимъ способомъ можно было достигнуть значительной точности. Прилипаніе воды къ тонкому стволу и къ самому тѣлу снаряда ведетъ къ неизбѣжнымъ погрѣшностямъ.

§ 66. Ареометры съ постояннымъ вѣсомъ. Опредѣленіе плотности по изложеннымъ выше методамъ требуетъ болѣе или менѣе продолжительнаго опыта. Но часто бываетъ нужно знать не точную величину плотности, а только степень густоты даннаго раствора, для того чтобы можно было судить удовлетворяетъ ли данная жидкость тѣмъ условіямъ которыя отъ нея требуются. Въ такомъ случаѣ весьма удобно имѣть инструментъ который достаточно погружать въ жидкость чтобъ убѣдиться имѣетъ ли она желаемую степень плотности. Такой инструментъ есть *ареометръ съ постояннымъ вѣсомъ*, погружающійся въ жидкостейъ различной плотности до различной глубины. Подобные инструменты были извѣстны еще въ древности. Ареометръ съ постояннымъ вѣсомъ состоитъ обыкновенно изъ цилиндрической стеклянной трубки отъ 15 до 20 центиметровъ длиною (фиг. 97, съ припаян-

нѣмъ къ ней цилиндрическимъ или сферическимъ резервуаромъ приличнаго объема. Къ этому резервуару присоединяется другой меньшій, куда наливается ртуть, играющая роль балласта для того чтобы снарядъ сохранялъ вертикальное положеніе будучи погруженъ въ жидкость.

Боме*) (1780) ввелъ слѣдующее раздѣленіе ареометра, которое употребляется инынѣ. Если ареометръ долженъ служить для жидкостей болѣе плотныхъ чѣмъ вода, то его устраиваютъ такъ, что въ водѣ онъ погружается до верхней части ствола (должно прибавить ртути, если онъ не погружается достаточно; убавить, если тонетъ). Это мѣсто отмѣчаютъ на незапаиванной еще сверху трубкѣ ареометра. Здѣсь будетъ нуль дѣлений (нуль ареометрической скалы). Потомъ наблюдаютъ, на сколько этотъ ареометръ погружается въ растворъ состоящемъ изъ 85 частей воды и 15 частей обыкновенной поваренной соли. Отмѣчаютъ и эту точку. Эту длину переводятъ на полоску бумажки, раздѣляютъ на 15 частей и продолжаютъ дѣленія за 15-мъ дѣленіемъ. Выкладываютъ бумажку въ трубку ареометра и прилеиваютъ ее такъ, чтобы дѣленія 0 и 15 соответствовали чертамъ, отмѣченнымъ на трубкѣ и запаиваютъ верхушку трубки. Изъ опыта извѣстно, до какого дѣленія погружается ареометръ въ различныхъ жидкостяхъ, когда онъ находится въ чистомъ видѣ. Погружая въ испытуемую жидкость, смотрятъ, на сколько это погруженіе отличается отъ того, какое должно быть въ чистой жидкости. Такой ареометръ въ концентрированной сѣрной кислотѣ погружается



Фиг. 97.

*) Парижскій ученый аптекарь.

до 66, въ концентрированной азотной до 45 дѣлений и т. д. Чтобы инструментъ былъ точенъ, трубка его, съ внешней поверхности, должна быть строго цилиндрической.

Если ареометръ долженъ служить для жидкостей менѣе плотныхъ чѣмъ вода, то его устраиваютъ такъ, чтобы въ растворѣ, состоящемъ изъ 90 частей воды и 10 ч. соли, онъ погружался только до основанія ствола. Потомъ погружаютъ его въ чистую воду; въ ней онъ погрузится нѣсколько болѣе. Отмѣчаютъ точку погруженія; дѣлятъ пространство между двумя найденными точками на 10 частей и продолжаютъ дѣленія вверхъ (въ предыдущемъ ареометрѣ они шли въ низъ).

Для испытанія количества алкоголя въ спиртѣ (растворъ алкоголя въ водѣ) употребляется *алкоголометръ*, котораго скала показываетъ сколько процентовъ по объему алкоголя (плотности 0,7939) заключается въ ста частяхъ жидкости.

Такъ какъ плотность тѣлъ измѣняется съ температурою, то условлено раздѣленіе ареометра Боме производить при 14° Реомюра, алкоголометра при 12° 5 Реомюра.

§ 67. Задачи. 1. Задача Гіерона. Корона изъ золота и серебра вѣситъ P граммовъ; будучи погружена въ воду теряетъ p граммовъ вѣса. Сколько въ ней золота (плотность = 19,1) и сколько серебра (плотность = 10,4)? 2. Флаконъ наполненный водою вѣситъ p граммовъ. Помѣстивъ на одну и ту же чашку вѣсовъ флаконъ и рядомъ съ нимъ кусокъ даннаго тѣла, находимъ что общій вѣсъ флакона и тѣла есть P . Введя кусокъ тѣла внутрь флакона и тщательно обтеревъ такъ какъ часть воды выльется при этомъ, находимъ что вѣсъ флакона съ водою и тѣломъ внутри есть Q . Какъ велика плотность испытуемаго тѣла? 3. Какъ велика поверхность (въ квадратныхъ сантиметрахъ) тѣла котораго вѣсъ есть p , плотность d и которое имѣетъ форму шара? 4. Какъ велико гидростатическое давленіе снизу вверхъ на тѣло, котораго плотность d , вѣсъ p граммовъ и которое погружено въ жидкость, имѣющую плотность d' ? 5. Ареометръ съ постояннымъ объемомъ, котораго вѣсъ есть p граммовъ, погружается до черты въ жидкости имѣющей плотность d . Какой вѣсъ надо прибавить, чтобы этотъ ареометръ погрузился до черты въ жидкости, которой плотность d' (здѣсь $d' > d$)? 6. Составить алгебраическія формулы для ареометра съ постояннымъ

объемомъ. 7. Ареометръ съ постояннымъ вѣсомъ вытѣсняетъ v куб. сантиметровъ жидкости, которой плотность d . Какой объемъ будетъ вытѣсненъ этимъ ареометромъ, если онъ будетъ погруженъ въ жидкость, которой плотность d' ? 8. На чашку вѣсовъ поставленъ сосудъ съ водою и уравновѣшенъ грузомъ положеннымъ на другую чашку. Опускаемъ въ сосудъ стеклянный вертикальный цилиндръ r сантиметровъ въ діаметръ, держа этотъ цилиндръ въ рукѣ. Сохранится ли равновѣсіе и если нѣтъ, то какой грузъ надо употребить для восстановления равновѣсія, если цилиндръ погруженъ на n сантиметровъ? 9. Подозрѣвается что масса мѣди пуста внутри. Ея вѣсъ въ воздухѣ P граммовъ, въ водѣ Q граммовъ. Удѣльный вѣсъ мѣди 8,8. Спрашивается, если подозрѣніе основательно, какъ великъ объемъ внутренней полости. 10. Два куска, одинъ изъ мрамора, другой изъ желѣза, привѣшены къ чашкамъ вѣсовъ и, будучи погружены въ изъ которую жидкость, уравновѣшиваются одинъ другимъ. Отношеніе ихъ дѣйствительныхъ вѣсовъ равняется a ; удѣльный вѣсъ мрамора 2,8, желѣза 7,7. Спрашивается удѣльный вѣсъ жидкости. 11. Платиновая сфера, радіусъ которой r , привѣшена къ чашкѣ вѣсовъ и погружена во ртуть; подъ другою чашкою привѣшенъ мѣдный прямой цилиндръ (радіусъ его основанія тоже r). Цилиндръ погруженъ въ воду. Спрашивается, какую высоту долженъ имѣть цилиндръ, чтобы было равновѣсіе? Плотность платины 22, ртути 13,5. 12. Платиновая проволока въ n метровъ длиною вѣситъ p граммовъ. Какъ великъ діаметръ? 13. Сосудъ, наполненный ртутью, вѣситъ p граммовъ въ воздухѣ, онъ вѣситъ 9 граммовъ въ водѣ. Какъ великъ вѣсъ ртути и вѣсъ стекла? Удѣльный вѣсъ стекла 2,5. 14. Кусокъ свинца съ прикрѣпленною къ нему пробкою остается въ равновѣсіи, будучи погруженъ въ воду. Какое отношеніе вѣса куска свинца къ вѣсу прикрѣпленной къ нему пробки? Плотность свинца = 11,35; плотность пробки = 0,24.

III. Ученіе о газахъ.

§ 68. Опыты объяснявшіеся, до открытія давленія воздуха, боязнью пустоты. Всякому извѣстно что, опустивъ конецъ трубки въ воду, можно чрезъ другой конецъ ртомъ втянуть воду. Вѣсь извѣстно также, — извѣстно было и въ глубокой древности, — употребленіе мѣховъ и насосовъ.

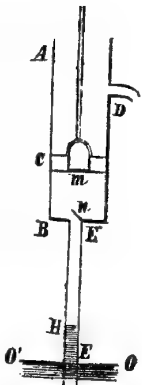


Фиг. 98.

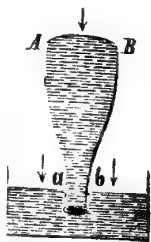
Раздвинувъ стѣнки мѣха (фиг. 98), мы наполняемъ его воздухомъ входящимъ внутрь отчасти чрезъ отверстіе C , а главное чрезъ особое отверстіе D , сдѣланное въ боковой стѣнкѣ и закрытое съ внутренней стороны клапаномъ, представляющимъ собою родъ кожаной дверцы, закрывающейся давленіемъ внутреннего воздуха, когда онъ выгоняется изъ мѣховъ нажимомъ стѣнокъ. Насосъ (въ одной изъ весьма употребительныхъ его формъ) состоитъ изъ цилиндра (фиг. 99), въ которомъ движется поршень C , снабженный клапаномъ m , открывающимся вверхъ; другой клапанъ n , открывающійся также вверхъ, находится при соединеніи цилиндра съ труб-

кою *BE*, чрезъ которую вода втягивается въ тѣло насоса. Какъ показываетъ опытъ, поршень, подымаясь вверхъ, привлекаетъ воду входящую въ трубку *BE*, а послѣ нѣсколькихъ качаній и въ самое тѣло насоса; при этомъ клапанъ *n* открывается входящею водою, а клапанъ *m* остается закрытымъ. Когда поршень идетъ внизъ, тогда давящая имъ вода закроетъ клапанъ *n*, откроетъ вверхъ клапанъ *m*, перейдетъ въ пространство надъ поршнемъ, мало-по-малудостигнетъ отверстія *D*, и станетъ переливаться пока продолжается качаніе. Известно, наконецъ, что если бутылку наполнимъ водою и, закрывъ отверстіе пальцемъ, пробкой или стеклянной пластинкой, погрузимъ въ воду и откроемъ отверстіе подъ водою, тогда вода не выльется (фиг. 100) и будетъ попрежнему наполнять сосудъ.

Чтобъ объяснить эти общеизвѣстные явленія, ученые до середины почти XVII вѣка принимали что природа не терпитъ пустоты (*horror vacui*), и какъ скоро изъ какого-нибудь мѣста вытѣсняется занимающее его вещество, окружающія тѣла тотчасъ направляются въ это мѣсто чтобы его наполнить. Согласно этому ученію, вода вступаетъ при всасываніи въ трубку, чтобы замѣстить пустоту имѣвшую образоваться чрезъ удаленіе втягиваемаго воздуха ртомъ. Но той же будто бы причинъ воздухъ входитъ въ полость раздвинутого мѣха. Поднимающійся поршень насоса, говорили, увлекаетъ находящееся подъ нимъ вещество, и вода не выливается изъ опрокинутой бутылки, ибо иначе подъ поршнемъ и въ бутылкѣ образовалась бы пустота.



Фиг. 99.



Фиг. 100.

§ 69. Наблюденіе Галилея надъ поднятіемъ воды въ длинномъ насосѣ. Идея Торричелли. Галилей замѣтилъ явленіе не объяснившееся изъ господствовавшаго ученія о боязни пустоты.

„Я видѣлъ, говоритъ онъ *), разъ цистерну, въ которой, чтобы доставать изъ нея воду, поставили насосъ, думая, но напрасно, съ меньшимъ трудомъ подымать то же или большее количество воды чѣмъ обыкновенными ведрами. Насосъ этотъ имѣлъ свой поршень или клапанъ сверху, такъ что вода подымалась притяженіемъ (всасываніемъ), а не нагнетаніемъ, какъ бываетъ въ насосахъ у которыхъ приборъ снизу. Насосъ, пока вода въ цистернѣ стояла на опредѣленной высотѣ, тянулъ ее обильно; но когда вода опускалась ниже извѣстнаго предѣла—не дѣйствовалъ болѣе. Я подумалъ, когда въ первый разъ увидѣлъ такой случай, что механизмъ былъ испорченъ, и когда нашелъ мастера чтобы его исправить, то онъ сказалъ мнѣ что тутъ нѣтъ никакого недостатка, а причина въ водѣ, которая опустившись слишкомъ низко не выносила поднятія на такую высоту; и онъ прибавилъ мнѣ что ни насосами, ни иною какою машиной, которая бы подымала воду притяженіемъ, не возможно заставить ее подняться ни на водосъ болѣе 18 приблизительно локтей (около 10 метровъ). Будетъ ли насосъ широкій или узкій—это во всякомъ случаѣ предѣлъ высоты“.

Галилей, впрочемъ, не видѣлъ въ этомъ опытѣ прямого опроверженія ученія о боязни пустоты и весьма оригинальнымъ образомъ хотѣлъ согласить его съ идеею о превлекающемъ дѣйствіи пустоты. Онъ продолжаетъ:

„Извѣстно что, укрѣпивъ верхнимъ концемъ веревку, деревянный шестъ и желѣзный прутъ, можно взять ихъ такой длины что наконецъ ихъ собственный вѣсъ разорветъ ихъ... То же должно случиться съ веревкой или пруткомъ состоящими изъ воды. А чтѣ иное притягивается въ насосѣ, какъ не цилиндръ воды, который имѣетъ свое прикрѣпленіе сверху и удлиняясь бо-

*) Въ Разговорахъ о механическихъ ученіяхъ.

тве и болѣе, наконецъ доходить до того предѣла, да-
тве котораго уже разрывается своимъ вѣсомъ точно
такъ какъ еслибы то была веревка? И то же самое
должно происходить, по моему мнѣнію, и съ другими
жидкостями—ртутью, виномъ, масломъ и пр., въ кото-
рыхъ разрывъ сдѣлался бы на высоту меньшей или
большей 18 локтей, смотря по большей или меньшей
плотности этихъ жидкостей сравнительно съ водою.
Высоты эти во всякомъ случаѣ должны измѣряться
вертикально“.

Ученикъ Галилея. Торричелли, *) напалъ на новую
мысль. Принявъ въ соображеніе что воздухъ есть тѣло
лѣгкое, **) онъ заключилъ что его верхніе
слои должны прижимать нижніе, и онъ долженъ потому
оказывать давленіе на омываемыя имъ тѣла. Повѣ-
рить эту мысль помощью изученія опыта Галилея съ
тридцати-футовою трубкою было затруднительно по
значительности разрывовъ снаряда. Но сообразивъ
что ртуть въ тринадцать разъ тяжелѣе воды, Торри-

*) Евангелиста Торричелли родился въ 1608 году въ Фаенцѣ
учился въ Римѣ, умеръ въ 1647 году профессоромъ математикъ
и философіи во Флоренціи. Кроме изобретенія барометра, из-
вѣстенъ изслѣдованіями движенія брошенныхъ тѣлъ и откры-
тіемъ закона истеченія жидкостей.

**) Галилей зналъ что воздухъ имѣетъ вѣсъ и опредѣлилъ его
слѣдующимъ образомъ: „Взявъ стеклянку съ узкимъ горлышкомъ,
довольно вмѣстительную, я покрылъ ее, вмѣсто пробки, кускомъ
кожи, имѣвшимъ форму наперстка, и завязалъ края этой кожи
лакъ можно плотно вокругъ шейки сосуда. Въ верхней части
наперстка находилось отверстіе, снабженное особаго рода кла-
паномъ. Помощію этого прибора и обыкновенной спринцовки,
я насильно вогналъ въ стеклянку большое количество воздуха, та-
кое что, не будь онъ сжатъ, имъ можно бы наполнить двѣ или
три подобныя стеклянки. Потомъ на весьма точныхъ вѣсахъ
взвѣсилъ стеклянку вмѣстѣ съ заключеннымъ въ ней воздухомъ,
причемъ, для болѣе точности, вмѣсто гирь употребилъ мел-
кій песокъ. Наконецъ, открывъ клапанъ и давъ исходить возду-
ху изъ сосуда, я помѣстилъ его опять на ту же чашечку вѣ-
шечка съ гирями перетянула чашечку съ сосудомъ. Чтобы воз-
становить равновѣсіе, пришлось съ первой чашечки снять въ-
сѣдующее количество песка, которое я осторожно собралъ въ
одно мѣсто. Безъ сомнѣнія, въ этомъ случаѣ вѣсъ снятаго пе-
ска равнялся вѣсу воздуха, насильственно вдавненного въ стекля-
нку и потомъ вытекшаго изъ ней.“

челли пришелъ къ заключенію (къ которому какъ мы
видѣли приходилъ уже и Галилей) что употребляя
эту жидкость можно сдѣлать опытъ подобный опыту
съ насосомъ, помощію трубки гораздо меньшихъ раз-
мѣровъ и болѣе простымъ образомъ. Ожиданія Тор-
ричелли оправдались, и такимъ образомъ произошелъ
знаменитый опытъ, послужившій основаніемъ для ус-
тройства снаряда называемаго *барометромъ*. Опытъ
этотъ сдѣланный въ 1643 г. состоитъ въ слѣдующемъ

§ 70. Опытъ Торричелли.

Взявъ стеклянную труб-
ку, длиною около метра,
запаянную съ одного кон-
ца и открытую съ друга-
го, наполняютъ ее ртутью,
и закрывъ отверстіе плот-
но пальцемъ, опрокиды-
ваютъ трубку, опуская
ея отверстіе въ чашечку
со ртутью (фиг. 101) и от-
нимая палецъ отъ отвер-
стія подъ ртутью. Ртуть
опускается въ трубкѣ и
останавливается на опре-
дѣленной высотѣ между
700 и 800 мм., считая
отъ свободной поверхно-
сти ртути въ чашкѣ. Если-
бы трубка была короче
этой высоты, напр. 600 или
500 мм., то она вся ос-
талась бы наполненною
ртутью, и мы имѣли бы
опытъ совершенно подобный опыту съ опрокинутою
бутылкою наполненною водою.



Фиг. 101.

Не трудно убедиться что пространство вверху трубки, называемое *Торричеллиевой пустотой*, не включаетъ въ себя воздуха. Погружая глубже въ ртуть конецъ трубки, или наклоняя ее въ бокъ, увидимъ что пустое пространство будетъ становиться менѣе и менѣе и наконецъ все наполнится ртутью (если только при наполненіи трубки ртутью въ ней не оставалось нисколько воздуха). То же доказываетъ слѣдующій опытъ. Нальемъ въ чашку, въ которую погружена трубка со ртутью, воды поверхъ ртути и станемъ поднимать трубку до тѣхъ поръ, пока ея отверстие, выйдя изъ ртути, перейдетъ въ пространство наполненное водою. Тогда колонна ртути не останется выше воды, но ртуть выйдетъ изъ трубки и замѣнится водою, которая быстро наполнитъ ее *всю*, не оставляя вверху пустоты. Опытъ Торричелли можно также произвести наполнивъ ртутью двухколенную трубку запаянную при концѣ длиннаго и открытую при концѣ короткаго колѣна, и поставивъ ее какъ изображено на фиг. 102. Такая трубка называется *сифонною* барометрическою трубкою.

§ 71. Объясненіе опыта Торричелли давленіемъ воздуха. Опытъ Торричелли, очевидно, вполне объясняется, если допустимъ, какъ допустилъ этотъ ученый, что воздухъ давитъ на всѣ тѣла. Внутри трубки, надъ ртутью, нѣтъ воздуха и слѣд. поверхность ея не испытываетъ давленія, тогда какъ на ртуть въ чашкѣ давленіе это обнаруживается и удерживаетъ ртуть въ трубкѣ на такой высотѣ, при которой давленіе воздуха на ртуть внѣ трубки уравнивается давленіемъ внизъ тяжелой колонны ртути внутри трубки. Если отбить запаянную верхушку трубки, то воз-



Фиг. 102.

духъ проникаетъ въ Торричеллиеву пустоту, и ртуть тотчасъ опускается. Если верхній конецъ трубки не запаянъ, но только закрытъ хорошо приточеннымъ краномъ, то можно, открывъ на мгновеніе кранъ, выпустить немного воздуха въ трубку. Ртуть понизится, но все еще внутри трубки будетъ стоять выше, чѣмъ въ чашечкѣ. Давъ воздуху свободный доступъ, увидимъ, что, когда воздухъ въ трубкѣ придетъ въ равновѣсіе съ окружающимъ, ртуть остановится на одномъ уровнѣ внутри и внѣ трубки.

§ 72. Приложеніе идеи Торричелли о давленіи воздуха къ объясненію явленій прежде объяснявшихся боязнью пустоты. Идея Торричелли о давленіи воздуха не только служитъ вполне естественнымъ объясненіемъ его опыта, но и чрезвычайно просто объясняетъ всѣ явленія причину которыхъ прежде искали въ боязни пустоты. При всасываніи, воздухъ въ трубкѣ разрѣжается и давитъ съ меньшею силою, а потому давленіе на воду внѣ трубки преобладастъ и заставляетъ воду подыматься. Давленіе воздуха нагоняетъ его въ мѣхъ, (фиг. 89) когда, раздвинувъ стѣнки мѣха мы увеличиваемъ его внутреннюю полость и разрѣжаемъ чрезъ то находящійся тамъ воздухъ. Давленіе внѣшняго воздуха преобладастъ, и онъ входитъ чрезъ отверстія *C* и особенно *D*, приподнимая клапанъ. (Еслибы не было этого боковаго отверстія, то весь входящій воздухъ проходилъ бы чрезъ отверстіе трубки и приносилъ бы съ собою въ мѣхъ пепелъ очага.) Въ случаѣ насоса поднимающійся поршень оставляетъ подъ собою разрѣженное пространство, въ которое и поднимается вода гонимая внѣшнимъ давленіемъ. Вода не выливается изъ опрокинутой бутылки (фиг. 100), ибо удерживается (какъ ртуть въ опытѣ Торричелли) давленіемъ воздуха на свободную плоскость жидкости въ сосудѣ, тогда какъ вода внутри бутылки ограждена отъ давленія стѣнками бутылки.

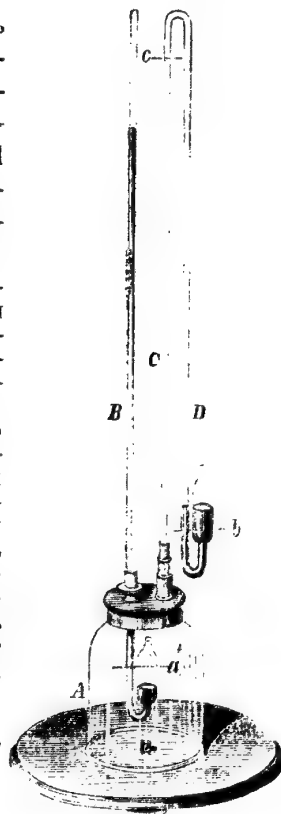
§ 73. **Опыты Паскаля: опытъ съ двойною трубкой.**
Опытъ Торричелли, произведенный въ Римѣ, скоро сдѣ-
лался извѣстнымъ и въ Итали и былъ повторяемъ во
многихъ мѣстахъ. Но ученіе о давленіи воздуха не
тотчасъ было принято учеными. Принятію этой про-
стой идеи, — естественно вытекающей изъ размышле-
ній о томъ что воздухъ есть тѣло имѣющее вѣсъ и дол-
женствующее давить внизъ, — препятствовало, кромѣ
приверженности къ утвердившемуся ученію, незнаніе
законовъ распространенія давленія въ жидкихъ тѣ-
лахъ и ложное и неясное представленіе, будто жид-
кость внутри своей массы не оказываетъ давленія:
Многіе ученые полагали что опытъ Тор-
ричелли не есть прямое доказательство да-
вленія воздуха и можетъ быть объясненъ
изъ ученія о боязни пустоты. Но Паскалемъ
были произведены два опыта, которые уже
нельзя объяснить изъ этого ученія и кото-
рымъ представляютъ прямое доказательство
давленія воздуха. Первый опытъ основыва-
ется на слѣдующей мысли. Если ртуть
держится въ барометрической трубкѣ да-
вленіемъ вѣшняго воздуха, то, очевидно,
она должна опуститься, если мы удалимъ
этотъ воздухъ. Воздушный насосъ тогда
еще не былъ извѣстенъ и потому Паскаль
не могъ осуществить опытъ въ прямой фор-
мѣ. Чтобы удалить воздухъ нагоняющей
ртуть въ барометрическую трубку, онъ дол-
женъ былъ прибѣгнуть къ особому приему,
остроумно придуманному. Онъ бралъ труб-
ку двойной барометрической длины загну-
тую какъ изображено на фиг. 103. Держа
ее закрытымъ концемъ *A* внизъ, наполнялъ
всю ртутью и опрокидывалъ надъ чашкою



Фиг. 103.

M какъ въ обыкновенномъ барометрическомъ опытѣ.
Въ колѣнѣ *KM* ртуть останавливалась на некоторой
высотѣ *сМ* какъ въ обыкновенномъ барометрѣ. Но въ
трубкѣ *AabK* ртуть въ обѣихъ колѣнахъ останавли-
валась на одной высотѣ, очевидно потому что надъ
нею какъ при *a* такъ и при *b* была пустота, ибо воздухъ
не могъ проникнуть въ пространство *bKc*. Открывъ
отверстіе находившееся при точкѣ *K* и во время про-
изводства опыта заткнутое
пальцемъ или инымъ какимъ
способомъ, напримѣръ затыкну-
тое пузыремъ, выпускали воз-
духъ, и тотчасъ ртуть въ колѣ-
ны *сМ* падала, а въ колѣнѣ *aA*
подымалась до барометриче-
ской высоты надъ опустившим-
ся уровнемъ при *b*.

Въ настоящее время опытъ съ из-
мѣненіемъ давленія при удаленіи
воздуха удобно производится, помо-
щью воздушнаго насоса, въ слѣдую-
щей формѣ (фиг. 104). Черезъ метал-
лическую крышку стекляннаго кол-
пака *A* проходитъ трубка споннаго
барометра *B* и другая трубка *C*, два-
жды загнутая и оканчивающаяся
при *b* болѣе толстою частью от-
крытою наружу. Ртуть, налитая при
b, отдѣляетъ вѣшній воздухъ отъ
воздуха заключающагося подъ коло-
коломъ насоса. По мѣрѣ выкачива-
нія воздуха, ртуть опускается въ
барометръ *B*, такъ какъ давленіе
при *a* становится менѣе и менѣе;
напротивъ того въ трубкѣ *b* ртуть
поднимается, такъ какъ упругость
внутренняго воздуха, по мѣрѣ его
разрѣженія, не въ состояніи урав-
новѣшивать давленіе вѣшняго.



Фиг. 104.

§ 74. **Опытъ съ восхожде-
ніемъ на гору.** „Подобно тому,

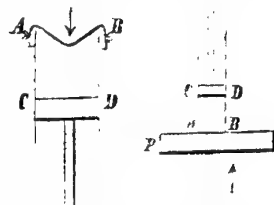
говорить Паскаль, какъ вода сильнѣе давить своимъ вѣсомъ на дно ведра, когда это ведро все наполнено чѣмъ когда оно налито до половины и вообще тѣмъ сильнѣе чѣмъ больше высота воды,—воздухъ оказываетъ болѣе давленія въ глубокихъ мѣстахъ, каковы долины, чѣмъ на высотѣ горъ, такъ какъ больше воздуха надъ долиною чѣмъ надъ вершиною горы, ибо весь воздухъ соответствующій склону горы давить на долину и не давить на вершину, находясь выше первой, но ниже второй“. Чтобы оправдать эту мысль Паскаль предложить сравнить одновременно высоту ртутнаго столба въ трубѣ Торричелли при подошвѣ и на вершинѣ какой-нибудь горы. Если окажется, говорилъ онъ, что „ртуть на горѣ стоитъ ниже, то очевидно причина явленія заключается въ давленіи, происходящемъ отъ тяжести воздуха, ибо ясно что при подошвѣ горы давящій внизъ столбъ воздуха болѣе чѣмъ на вершинѣ, но нельзя сказать что природа болѣе боится пустоты при подошвѣ горы чѣмъ на ея вершинѣ.“ Опытъ произведенный по указанію Паскаля однимъ изъ его родственниковъ на горѣ Пюи-де-Домъ (въ провинціи Овернь) вполне оправдалъ ожиданія Паскаля. Высота ртутной колонны барометра оказалась при подошвѣ горы выше чѣмъ на горѣ. Этотъ опытъ, не только доказывающій давленіе воздуха, но и объясняющій происхожденіе этого давленія отъ вѣса лежащихъ одинъ на другомъ воздушныхъ слоевъ, Паскаль разсматривалъ какъ *рѣшительный опытъ* (*experimentum crucis* по терминологіи Бекона *) и именовалъ великимъ опытомъ равновѣсія жидкостей (*grande expérience de l'équilibre des liquides*).

*) Беконъ Веруламскій славный англійскій философъ начала XVII вѣка (умеръ 1626 года) основатель индуктивнаго метода.

Въ послѣдствіи Соссюръ *) нашелъ что на Монъ-Бланѣ высота барометра не болѣе 530 миллиметровъ; Гей-Люссагъ **) во время своего воздушнаго путешествія достигъ высоты, на которой барометръ показывалъ только 320 миллиметровъ (тогда какъ нормальная высота при поверхности земли простирается до 760 милл.).

Уменьшеніемъ барометрической высоты по мѣрѣ повышенія въ атмосферѣ пользуются для опредѣленія высоты горъ и разстоянія отъ земной поверхности въ воздушныхъ путешествіяхъ.

§ 75. Давленіе воздуха подчинено общимъ законамъ давленія жидкихъ тѣлъ. Согласно закону распространенія давленія нижній слой воздуха, сжатый вѣсомъ выше-лежащихъ слоевъ, давить въ свою очередь на омываемыя имъ тѣла со *всѣхъ сторонъ*. Какъ бы мы ни помѣстили ихъ въ воздухъ, послѣдній одинаково проникаетъ въ ихъ внутренность, когда мы ихъ раздвигаемъ. Грузъ *P* (фиг. 106) атмосфернымъ давленіемъ *снизу* поднимается вверхъ когда наблюдатель взявшись за него рукою выдвинетъ поршень *CD* доходявшій прежде до дна и выпуститъ грузъ изъ рукъ. Въ случаѣ цилиндра (фиг. 105), дно котораго *AB* замкнуто перепонкой изъ каучука или пузыря, перепонка эта, когда удаляемъ поршень прежде плотно ея касавшійся, вдавливаясь одинаково какъ бы цилиндръ помѣщенъ ни былъ.

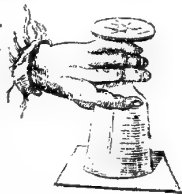


Фиг. 105. Фиг. 106.

*) Знаменитый швейцарскій геологъ и метеорологъ, авторъ *Путешествія по Альпамъ*, родился въ Женевѣ въ 1740 г., умеръ 1799 года.

**) Французскій ученый начала нынѣшняго столѣтія оказавшій важныя заслуги въ области физики и химіи. Родился 1778 г., умеръ въ 1850.

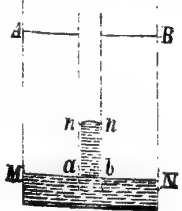
Но почему же, несмотря на давление воздуха снизу, вода выливается из опрокинутой бутылки и вообще из наполненного сосуда обращенного отверстием вниз? Это происходит оттого что жидкость в подобных случаях находится в состоянии равновѣсія *неустойчиваго*.



Фиг. 107.

Если наполнить до верха стаканъ водою и положить на ея поверхность листъ бумаги, то можно съ осторожностію опрокинуть стаканъ отверстиемъ внизъ (фиг. 107), и вода не выльется. Она будетъ удерживаться атмосфернымъ давлениемъ, дѣйствующимъ снизу. Листъ мѣшаетъ измѣненію поверхности воды. Еслибъ его не было, то несмотря на давление воздуха снизу, равновѣсіе не могло бы сохраниться, ибо при малѣйшемъ измѣненіи поверхности давление въ разныхъ ея точкахъ сдѣлается не одинакимъ; одѣ части будутъ опускаться, другія подыматься*), и скоро весь стаканъ опорожнится. Еслибы, вмѣсто стакана, мы взяли сосудъ съ узкимъ отверстиемъ (напримѣръ трубку, запиравшую съ одного конца и оканчивающуюся съ другаго капиллярнымъ отверстиемъ), то такой сосудъ, когда онъ наполненъ водою, можно, какъ показываетъ опытъ, опрокинуть отверстиемъ внизъ, не закрывая ничѣмъ, и вода не выльется.

Чтобъ указать что давление воздуха происходитъ по тѣмъ же законамъ какъ давление жидкостей, Паскаль сдѣлалъ рядъ опытовъ, въ которыхъ, помощью давления воды, воспроизвелъ явленія сходныя съ тѣми какія производитъ давление воздуха. Такъ, опытъ соответствующій опыту Торричелли онъ произвелъ въ слѣдующей формѣ. Открытая сверху трубка (фиг. 108) погружена нижнимъ концемъ во ртуть налитую на дно сосуда долитаго водою до уровня *AB*. Ртуть въ трубкѣ будетъ стоять выше чѣмъ въ сосудѣ вслѣдствіе давления массы воды *AMNB*. Колонна *abmn* ртути соответствуетъ барометрической колоннѣ. Вода наполняющая сосудъ до *AB* соответствуетъ воздуху. То обстоятельство что трубка барометрическая сверху закрыта, а трубка въ опытѣ открыта (для того чтобы



Фиг. 108.

воздухъ одинаково давлѣ вънутри и внѣ ея и слѣд. своимъ присутствіемъ ни въ чемъ не измѣнялъ явленія) не мѣшаетъ точности аналогіи, ибо еслибы барометрическая трубка была столь длинна что ея верхній конецъ выходилъ бы за предѣлы атмосферы, то тогда не было бы надобности чтобъ онъ былъ закрытъ. Онъ закрывается дабы предотвратить доступъ воздуха внутрь трубки. Еслибы въ опытѣ (фиг. 108) мы сдѣлали въ стѣнкѣ трубки отверстие, чрезъ которое она наполнилась бы водою, ртуть тотчасъ бы опустилась. Такимъ образомъ атмосферу и барометрическую трубку мы можемъ разсматривать какъ два сообщающіеся сосуда наполненные жидкостями разной плотности. Подобно тому какъ форма сообщающихся сосудовъ не имѣетъ вліянія на равновѣсіе заключающейся въ нихъ жидкости, видъ и форма барометрической трубки не имѣютъ вліянія на высоту ртутной колонны (эта высота есть вертикальное разстояніе уровня ртути въ трубкѣ отъ уровня въ чашкѣ*)).

Такъ какъ въ сообщающихся трубкахъ высоты жидкостей обратно пропорціональны плотностямъ, то очевидно что если столбъ ртути уравнивается атмосферное давление имѣетъ высоту 760 миллиметровъ, то столбъ воды долженъ имѣть высоту въ 13,5 разъ большую, то-есть 10,33 метра. Столбъ масла, котораго плотность 0,92, долженъ имѣть высоту 11,23 метра и т. д.

§ 76. Величина атмосфернаго давления.—Среднимъ числомъ высота ртути въ барометрѣ равняется 760 милл. Слѣд. на каждую единицу поверхности тѣла воздухъ давитъ какъ столбъ ртути, имѣющей основаніемъ единицу поверхности, а высотой 760 милл. или 76 центиметровъ. Объемъ столба ртути,

*) Разница между состояніемъ слоя воды несущимъ вѣсъ выше-лежащихъ слоевъ и слоевъ воздуха сжатыхъ выше-лежащими слоями въ томъ что плотность воды очень мало измѣняется отъ давления, и еслибы глубина моря уменьшилась, напр., на половину, слой воды находящійся на днѣ увеличился бы въ объемъ на самую незначительную величину; напротивъ того, еслибы уменьшился давящій воздушный столбъ, плотность окружающаго насъ воздуха уменьшилась бы значительно, и онъ бы значительно расширился.

*) См. ниже § 79.

въ квадратный дециметр основанія и 76 сантим. высоты составляет 76 кубич. сантим. Если бы этот столбъ былъ изъ воды, онъ вѣсилъ бы 76 граммовъ. Ртуть въ 13,598 разъ тяжелѣе воды, слѣдов. ртутный столбъ вѣситъ $76 \times 13.6 = 10336$ граммовъ или 1,0336 килограмм. Такимъ образомъ воздухъ давить на каждый квадрат. дециметръ съ силою равною 1,0336 килогр., давленіе на квадратный дециметръ будетъ 103,36 килогр., на квадрат. метръ 10336 килогр. Давленіе на квадрат. дюймъ равняется 6,6 килогр. или 16,1 фунтамъ.

Поверхность человѣческаго тѣла можно приблизительно считать равною $1\frac{1}{2}$ квадрат. метра. Слѣдов. полная величина давленія атмосферы на поверхность нашего тѣла составляетъ болѣе 15000 килогр. (болѣе 900 пудовъ).

Если бы воздухъ какъ въ нижнихъ, такъ и въ верхнихъ слояхъ своихъ имѣлъ одинаковую плотность, то было бы легко, основываясь на законѣ равновѣсія разнородныхъ жидкостей, опредѣлить высоту атмосферы. Въ такомъ случаѣ высота АВ столба воздуха (фиг. 108) была бы во столько разъ болѣе высоты h столба ртути, во сколько плотность ртути болѣе плотности воздуха, окружающаго барометръ. Слѣд., назвавъ высоту атмосферы x , плотность воздуха d (величина $d = 0.0012991$), будемъ имѣть, выразивъ высоту ртутнаго столба въ метрахъ (0,76 метр.):

$$x : 0.76 = 13.6 : d$$

откуда $x = 7955$ метрамъ (около $7\frac{1}{2}$ верстъ).

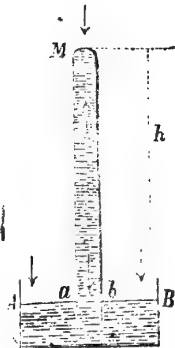
Но понятно что это разсужденіе основано на ложномъ допущеніи что плотность воздуха въ верхнихъ слояхъ такая же какъ при поверхности земли. Плотность воздуха зависитъ отъ давленія, подъ какимъ онъ находится и уменьшается по мѣрѣ высоты надъ поверхностію земли. Потому высота атмосферы гораздо значительнѣе приведеннаго числа. Ее считаютъ равною отъ 60 до 80 тысячъ метровъ.

§ 77. Почему мы не чувствуемъ давленія атмосферы. Величина давленія воздуха на всю поверхность нашего тѣла превышаетъ 900 пудовъ. Какимъ же образомъ выдерживаемъ мы это давленіе не замѣчая его? Давленіе это, очевидно, нельзя сравнивать ни съ грузомъ положеннымъ на плеча, который давить лишь въ опредѣленномъ направленіи, ни даже съ давленіемъ хотя бы и со всѣхъ сторонъ, на оболочку внутри пустую. Внутри нашего тѣла находятся жидкости и воздухъ, которые своею упругостію уравниваютъ давленіе вѣшняго воздуха. Наши кости, ткани,

вообще твердыя части организма должно сравнивать съ тѣлами погруженными въ жидкость находящуюся подъ опредѣленнымъ давленіемъ. А изъ § 62 мы уже знаемъ что тѣло находящееся внутри жидкости и слѣд. претерпѣвающее одновременно со всѣхъ сторонъ ея давленіе, не измѣняетъ ни своего вида, ни своей гибкости какъ бы тонко и нѣжно оно ни было. Рыбы живущія на значительной глубинѣ, муха въ опытѣ Паскаля безъ затрудненія переносятъ огромныя давленія, не теряя живости и легкости движеній.

§ 78. Разборъ случая опрокинутой трубки, которой высота мѣнѣе барометрической. Если трубка которую наполняемъ ртутью и опрокидываемъ въ чашку короче чѣмъ столбъ ртути способный уравнивать давленіе атмосферы, то трубка, какъ знаемъ, останется вся наполненною ртутью. На ртуть въ чашкѣ (фиг. 109) давить воздухъ съ силою столба ртути высотой около 760 миллим. Назовемъ эту высоту H . Колонна ртути внутри трубки имѣетъ высоту h меньшую чѣмъ H и не можетъ исполнить уравнивать давленіе атмосферы. Потому ртуть внутри трубки прижата къ ея вершинѣ съ силою столба ртути, котораго высота $H - h$.

Такимъ образомъ давленіе атмосферы уравнивается давленіемъ столба ртути h и противодѣйствіемъ верхней стѣнки трубки. Если бы жидкость наполняющая трубку была вода, то давленіе снизу на верхнюю стѣнку трубки выразилось бы столбомъ воды $10,3 - h$ метр. высотой, такъ какъ столбъ воды уравнивающий атмосферное давленіе имѣетъ высоту около 10,3 метровъ.



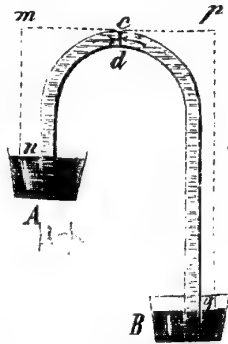
Фиг. 109.

§ 79. Теорія сифона. Загнутая двухколѣнная трубка

называется вообще *сифономъ*. Если такую трубку наполнить жидкостью и опрокинуть короткимъ концомъ въ одинъ сосудъ, а длиннымъ въ другой, какъ показано на фиг. 110 (предполагаемъ что оба сосуда наполнены тою же жидкостью, какъ и трубка), то жидкость изъ перваго сосуда будетъ перетекать во второй.

Свойство сифона было извѣстно съ давнихъ временъ и еще Геронъ описалъ многіе снаряды, гдѣ сифонъ играетъ главную роль. Онъ выражалъ даже, «какъ вещь неподлежащую (говоритъ Паскаль) сомнѣнію, что можно воду изъ рѣки заставить перелиться черезъ гору въ находящуюся по другую сторону долину, если только она лежитъ хотя немного глубже, помощію сифона, помѣщеннаго на вершинѣ и котораго вѣтви спускаются по скатамъ одинъ въ рѣку, другой въ долину. Геронъ увѣряетъ, что вода поднимется изъ рѣки на гору, чтобы спуститься затѣмъ въ долину, какова бы ни была высота горы». И эта ошибка повторилась многими писателями до той эпохи, когда было узвано, что дѣйствіемъ атмосфернаго давленія нельзя поднять воду выше 10 метровъ, ртути выше 76 центиметровъ.

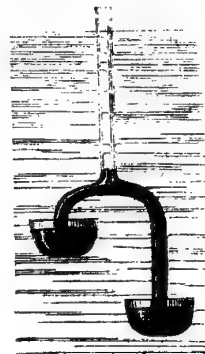
Дѣйствіе сифона объясняется изъ предыдущаго параграфа. Обратимъ вниманіе на сѣченіе *cd* раздѣляющее сифонъ на два колѣна. Давленіе испытываемое этимъ сѣченіемъ слѣва вправо равняется $H - h$, гдѣ H давленіе атмосферы, выраженное высотой столба перетекающей жидкости, h вертикальная высота жидкости въ короткомъ колѣнѣ или длина *mn*. Давленіе изъ то же сѣченіе справа влѣво есть $H - h'$, гдѣ h' высота жидкости въ длинномъ колѣнѣ или *pq*. Такъ какъ h' болѣе нежели h , то $H - h$ болѣе нежели $H - h'$. Давленіе слѣва вправо слѣдовательно болѣе чѣмъ справа влѣво, и жидкость должна перетекать изъ короткаго колѣна въ длинное и переливаться изъ верхняго сосуда въ нижній. Еслибы



Фиг. 110.

высота h была равна или болѣе H , то дѣйствіе сифона было бы не возможно, такъ какъ атмосферное давленіе не можетъ поднять данную жидкость болѣе чѣмъ на высоту H . Мы имѣли бы два соединенные барометра, въ которыхъ жидкость оставалась бы на высотѣ H , образуя вверху сифона пустоту.

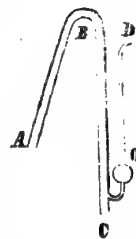
Чтобы пояснить теорію сифона, Паскаль описываетъ опытъ, въ которомъ давленіемъ воды можно произвести дѣйствіе подобное тому какое производитъ въ случаѣ сифона атмосферное давленіе. Двухколѣнная трубка (фиг. 111) снабжена каналомъ отверстіе котораго находится выше уровня воды; будучи погружена въ водѣ, она можетъ служить для переливанія ртути изъ сосуда выше лежащаго въ другой лежащей ниже. Еслибы не было воды ртуть не переливалась бы, и упала частью въ одинъ сосудъ частью въ другой такъ какъ воздухъ чрезъ открытый каналъ имѣетъ доступъ въ сифонъ. «Всѣхъ воды, очевидно, есть причина переливанія, такъ какъ онъ давитъ на ртуть въ сосудахъ, но не давить на ту которая въ сифонѣ... Если сдѣлать отверстіе въ сифонѣ, такъ чтобы вода могла въ него проникнуть, то переливаніе прекратится, ибо вода будетъ давить какъ внутри такъ и внѣ сифона».



Фиг. 111.

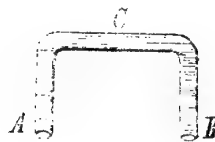
Чтобы удобно было наполнить сифонъ жидкостью, ему даютъ обыкновенно форму, изображенную на фиг. 112. Чрезъ трубку *CD*, закрывъ отверстіе *C* пальцемъ, всасываютъ жидкость, которая такимъ образомъ наполняетъ сифонъ. Чтобы жидкость не попала въ ротъ дѣлающаго опытъ, трубка *CD* имѣетъ расширеніе *O*.

Такъ какъ въ равноколѣнномъ сифонѣ *ACB* наполненномъ жидкостью и помѣщенномъ какъ изображено на фиг. 113 обѣ половины *AC* и *CB* одинаковы, то нѣтъ причины чтобы жидкость выливалась въ ту или другую сторону. Но равновѣсіе въ этомъ случаѣ будетъ неустойчиво, ибо при самой незначитель-



Фиг. 112.

ной разницѣ высота жидкости при концахъ A и B тотчасъ начнется истечение въ сторону болѣе длинной колонны. Этотъ



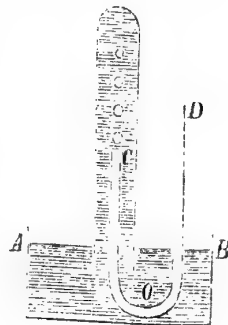
Фиг. 113.



Фиг. 114.

опытъ разъясняетъ почему вода выливается изъ опрокинутого сосуда (фиг. 114) несмотря на атмосферное давленіе снизу. Если, напримѣръ, при c вода хотя нѣсколько ниже чѣмъ при d , то мы можемъ эти мѣста разсматривать какъ концы воображаемаго сифона, въ которомъ жидкость не можетъ остаться въ равновѣсіи.

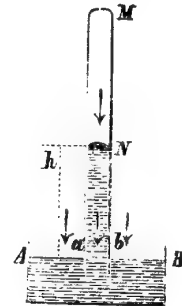
§ 80. Сифонъ переливающей воздухъ. Введемъ въ трубку, наполненную жидкостью и погруженную отверстиемъ (фиг. 115) въ сосудъ съ такою же жидкостью, колѣно OC сифона, такъ чтобы во время этого введенія жидкость не вошла въ сифонъ (для этого отверстие D должно закрыть пальцемъ) и притомъ такъ чтобы конецъ C былъ выше уровня жидкости AB . Открывъ отверстие D , замѣтимъ, что пузырьки воздуха будутъ входить чрезъ отверстие C и воздухъ быстро наполнитъ трубку. Это явленіе объясняется разностью давленій снизу вверхъ и сверху внизъ при отверстіи C . Такъ какъ сифонъ открытъ и наполненъ воздухомъ, то снизу вверхъ при C давитъ атмосфера; давленіе сверху внизъ равняется атмосферному давленію, уменьшенному вѣсомъ столба жидкости, котораго высота есть разстояние S отъ уровня жидкости AB . Первое давленіе болѣе втораго, и потому воздухъ входитъ въ трубку.



Фиг. 115.

§ 81. Разборъ случая когда въ опрокинутой трубкѣ надъ ртутью находится воздухъ. Если мы, производя опытъ Торричелли, наполнимъ ртутью не всю трубку, но оставимъ въ ней часть воздуха, то, опрокинувъ ее по извѣстному способу въ чашку со рту-

тью, замѣтимъ что воздухъ поднимется къ верху и займетъ нѣкоторое пространство NM (фиг. 116) надъ ртутью. Давленіе атмосферы H уравнивается совокупности давленій столба ртути h и воздуха наполняющаго верхнюю часть трубки. Заключаемъ что воздухъ содержащійся вверху трубки давитъ на поверхность N ртути, такъ какъ бы давилъ столбъ $H-h$ ртути. Высота $H-h$ можетъ слѣд. служить мѣрою упругости этого воздуха. Другими словами это выражается такъ: воздухъ внутри трубки находится *подъ давленіемъ столба ртути $H-h$* . Еслибы воздухъ внутри трубки стоялъ на такой же высотѣ какъ въ чашкѣ, такъ что h было бы равно нулю, то мы сказали бы что онъ находится *подъ давленіемъ полной атмосферы*. Еслибы вмѣсто воздуха въ трубкѣ былъ какой-нибудь другой газъ, то мы разсуждали бы о немъ точно также, какъ о воздухѣ.



Фиг. 116.

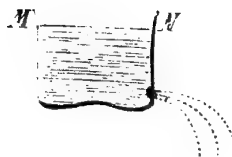
Еслибы въ трубкѣ и чашкѣ была не ртуть, а другая какая-нибудь жидкость, то давленіе атмосферы мы должны бы были выразить высотой столба этой жидкости. Тогда газъ былъ бы *подъ давленіемъ $H'-h$* , гдѣ H' высота колонны жидкости уравнивающая давленіе атмосферы.

§ 82. Случай открытой трубки, опущенной въ закрытый сосудъ. Трубка открытая съ обоихъ концовъ проходитъ чрезъ пробку плотно закрывающую сосудъ. Каналъ трубки и внутренность стѣянки суть какъ бы два „сообщающіеся сосуда“. На сѣченіи DE проходящее чрезъ отверстие A , помощью котораго сосуда сообщаются, давятъ внутри канала атмосферный воздухъ и столбъ жидкости находящійся въ трубкѣ; внѣ канала столбъ жидкости. извнѣ окружающій трубку и прилежащій высоту EA' , и давленіе внутренняго воздуха стѣянки. Такъ какъ жидкость остается въ равновѣсіи, то давленіе на сѣченіи

DE одинаково какъ внутри трубки, такъ и внѣ ея. Когда жидкость въ трубкѣ стоитъ выше отверстия *A* (на фиг. 117 при *n*, на фиг. 118 при *m*), то оно болѣе атмосфернаго, ибо въ давленію воздуха присоединяется давленіе столба жидкости внутри трубки. Если бы жидкость въ трубкѣ стояла при самомъ отверстіи *A*, то сѣченіе DE испытывало бы давленіе равное атмосферному.

§ 83. Задача. Доказать что воздухъ внутри стеклянки сжатъ (т.-е. давленіе его болѣе атмосфернаго), когда внутри трубки жидкость стоитъ, какъ на фиг. 117, выше уровня *MN*; и разряженъ, когда, какъ на фиг. 118, она ниже *MN*. Какъ повысить или понизить уровень жидкости въ трубкѣ *AB*, чтобы перейти отъ опыта изображеннаго на фиг. 117 къ опыту изображенному на фиг. 118 и наоборотъ?

§ 84. Мариоттовъ *) сосудъ для постояннаго истеченія жидкости. Возьмемъ открытый сосудъ (фиг. 119) и пустимъ жидкость изъ отверстія его *C*. Скорость истеченія по мѣрѣ пониженія уровня *MN* будетъ уменьшаться и струя наклоняться ниже и ниже, такъ какъ уменьшается высота столба жидкости давленіемъ



Фиг. 119.



Фиг. 120.

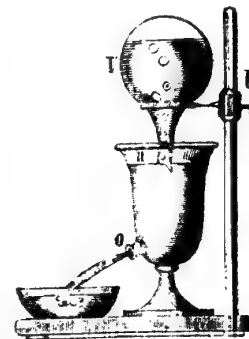
*) Аббатъ Мариоттъ французскій физикъ второй половины XVII вѣка, членъ Парижской Академіи Наукъ, умершій въ 1684 году. Известенъ трудами по гидравликѣ и механикѣ и послѣдованіемъ закона сжимаемости газовъ,

котораго гонится жидкость изъ сосуда. При этомъ давленіе воздуха не имѣетъ вліянія на истеченіе, такъ какъ при *C* давленіе атмосферы, передаваемое жидкостью сверху, уравнивается атмосфернымъ давленіемъ непосредственно дѣйствующимъ сбоку. Сосудъ подобный описанному въ предыдущемъ параграфѣ съ отверстіемъ *C* внизу (фиг. 120) и называемый *Мариоттовымъ* позволяетъ сохранить скорость истеченія постоянною, несмотря на убыль жидкости и пониженіе ея уровня.

Постоянное истеченіе начинается съ того момента, когда жидкость внутри трубки опустится до уровня отверстія *A*. Въ этотъ моментъ давленіе на сѣченіи DE, какъ намъ извѣстно изъ предыдущаго параграфа, равняется атмосферному и следовательно жидкость вытекаетъ при тѣхъ же условіяхъ, какъ еслибы она была въ открытомъ сосудѣ на уровнѣ DE, и истекла подъ давленіемъ столба EC. Эти условія сохраняются во все послѣдующее время пока уровень *MN* жидкости будетъ выше отверстія *A*. По мѣрѣ истеченія, давленіе воздуха внутри сосуда стремится уменьшиться, но едва оно уменьшится, какъ давленіе воздуха чрезъ отверстіе *A* воспроблаждаетъ, и воздухъ нузырями подымется вверхъ, возстановляя равновѣсіе давленій.

§ 85. Другой приемъ для той же цѣли. Опрокинемъ закрытый сверху и наполненный жидкостью сосудъ *V* (фиг. 121) въ стаканъ, наполненный жидкостью такъ чтобы отверстіе *n* находилось немного ниже уровня жидкости въ стаканѣ. Жидкость не выливается изъ опрокинутаго сосуда. Откроемъ отверстіе *o* стакана. Жидкость начинаетъ вытекать, и скоро ея уровень понизится такъ, что отверстіе *n* сдѣлается не закрытымъ. Пузырьки воздуха поднимаются въ верхнюю часть сосуда *V*, и вытѣсняемая имъ вода поддерживаетъ уровень жидкости въ стаканѣ на одной высотѣ.

Чтобы воздухъ не слишкомъ стремительно входилъ въ опрокинутый сосудъ, отверстіе *n* обрѣзается въ косъ или вообще дѣлается съ неровными краями.



Фиг. 121.

§ 86. Устройство барометра. Чтобы опытъ Торричелли могъ служить для точнаго намѣренія давленія атмосферы, должны быть соблюдены многія условія. Снарядъ Торричелли, устроенный съ надлежащими предосторожностями, именуется *барометромъ*.

Первое условие точности барометра состоитъ въ томъ, чтобы въ верхней части его, называемой Торричеллиевой пустотой, не было ни воздуха, ни влаги порождающей паръ. Иначе ихъ упругость уменьшила бы высоту ртутнаго столба. Прежде чѣмъ опростить трубку, ртуть осторожно кипятятъ чтобы выгнать остатки воздуха и влажности остающихся между стѣнками трубки и наполняющею ее ртутью. Для этого помѣщаютъ трубку въ наклонномъ положеніи и нагреваютъ до кипѣнія, начиная съ запаяннаго конца и поднимаясь постепенно вверхъ. При этомъ ртуть должна кипѣть заразъ только на весьма небольшомъ протяженіи; иначе неправильныя движенія ртутной колонны, при поднимаемой выходящимъ паромъ ртути, могутъ легко разбить трубку. Какъ скоро ртуть хорошо выкипчена, ея поверхность прикосновенія съ стѣнками принимаетъ блестящій зеркальный видъ, и нигдѣ не замѣтно ни приставшихъ пузырьковъ воздуха, ни осажденнаго пара.

Ртуть самая удобная жидкость для барометра. Ея большая плотность позволяетъ давать барометрической трубкѣ небольшую длину. Еслибы барометръ былъ наполненъ водою, то длина его трубки должна бы превышать 10 метровъ. Ртуть легко имѣть въ чистомъ видѣ. Наконецъ ртуть при обыкновенной температурѣ отдѣляетъ столь незначительное количество пара что его упругость не производитъ замѣтнаго уменьшенія длины ртутной колонны, и если воздухъ и влага тщательнo выгнаны изъ барометрической трубки, то пространство надъ ртутью можно считать совершенно пустымъ. Въ случаѣ водянаго барометра пространство сверху его было бы наполнено водянымъ паромъ. Упругость этого пара понижаетъ водяную колонну при обыкновенной комнатной температурѣ дециметра на два ниже той высоты какую она имѣла бы, еслибы сверху трубки была пустота.

Употребительнѣйшія формы барометра суть барометръ съ чашечкою и барометръ сифонный.

§ 87. Барометръ съ чашечкою Фортена. Стекланная трубка барометра Фортена (знаменитый французскій строитель инструментовъ начала нынѣшняго столѣтія) заключена въ мѣдной цилиндрической трубкѣ (фиг. 123) съ широкими прорѣзами одинъ противъ другаго, чрезъ которые можно наблюдать высоту

ртутной колонны. На краю одного изъ прорѣзовъ назначены дѣленія, помощью которыхъ измѣряется высота ртути надъ ея уровнемъ въ чашечкѣ. Самая чашечка закрыта со всѣхъ сторонъ, впрочемъ такъ что воздухъ легко проникаетъ въ нее и оказываетъ давленіе на ртуть.

Фиг. 122 представляетъ чашечку барометра Фортена. Она состоитъ изъ стекляннаго цилиндра *RR*, соединеннаго съ металлическою оправой *AA*, чрезъ которую проходитъ барометрическая трубка. Деревянный цилиндръ *BB* оканчивается замшевымъ мѣшкомъ *P* и заключенъ въ металлическомъ цилиндрѣ *MM*. Помощію винта *V*, упирающагося въ деревянный кружокъ *U*, присоединенный къ замшевому мѣшку, можно заставить подниматься или опускаться уровень ртути *тн*. Это необходимо, такъ какъ уровень ртути въ чашечкѣ не остается постояннымъ: ртуть входитъ изъ чашечки въ трубку, когда атмосферное давленіе увеличивается и прибываетъ въ чашечкѣ, когда ртутная колонна понижается вслѣдствіе уменьшенія давленія. При началѣ каждого наблюденія приводятъ поверхность ртути въ прикосновеніе съ кончикомъ *a* маленькаго острія изъ слоновой кости, придѣланнаго къ верхней оправѣ. Отъ этого кончика считается высота ртутной колонны, измѣряемая помощью дѣлений, означенныхъ на цилиндрической оправѣ, облекающей барометрическую трубку.

Такъ какъ высота колонны ртути, измѣряющая величину атмосфернаго давленія, считается по вертикальному направленію отъ уровня ртути въ чашечкѣ до уровня въ трубкѣ, и такъ какъ эта высота измѣряется помощью скалы, придѣланной къ трубкѣ, то для правильнаго измѣренія необходимо чтобы трубка стояла вертикально. Для этого барометръ вѣшается такъ чтобы онъ могъ свободно принять вертикальное положеніе.

Когда надо перевозить барометръ, то предварительно поднимаютъ подвижное дно чашечки до тѣхъ поръ пока ртуть совсѣмъ наполнитъ и чашечку, и трубку.

§ 88. Сифонный барометръ (фиг. 124), состоитъ изъ двухъ трубокъ одинаковаго діаметра, соединен-



Фиг. 122. Фиг. 123.

ныхъ между собою помощью трубки *D* съ капиллярнымъ каналомъ. Высоту колонны ртути, уравнивающей давление атмосферы, должно считать отъ уровня *m* до вершины *C* ртути въ трубкѣ. Эта высота опредѣляется помощью двухъ скалъ, изъ которыхъ одна находится при *C*, другая при *m*. Когда инструментъ должно переносить, его перевертываютъ, какъ показано на фиг. 125. Желая произвести наблюдение, его снова переворачиваютъ и помѣщаютъ въ прежнее положеніе. Ртуть понижается въ длинномъ колѣнѣ и повышается въ короткомъ, соединяясь съ тою, которая оставалась въ этомъ послѣднемъ. Капиллярная трубка не позволяетъ воздуху раздѣлить жидкую колонну и проникнуть въ Торричеллиеву пустоту.

Отъ теплоты плотность ртути измѣняется, и слѣд. при той же величинѣ атмосфернаго давления высота ртутнаго столба будетъ различная, смотря по степени теплоты ртути наполняющей барометръ. При помощи вычисления, о которомъ будемъ говорить ниже, барометрическую высоту приводятъ къ той, какую показывалъ бы барометръ еслибы наполняющая его ртуть была при температурѣ 0°.

§ 89. Металлическій барометръ.—Опытъ показалъ что согнутая металлическая трубка съ весьма тонкими стѣнками которой концы запаяны и изъ которой предварительно вытянутъ воздухъ представляетъ инструментъ весьма чувствительный къ измѣненіямъ атмосфернаго давления. Какъ скоро давление окружающаго воздуха увеличивается, концы такой пустой трубки *A*, укрѣпленной въ своей срединѣ (фиг. 126), сближаются между собою. Когда давление уменьшается, они удаляются одинъ отъ другаго. Стрѣлка соединена съ концами трубки помощью особаго механизма. Эта стрѣлка отклоняется вправо какъ скоро концы трубки сближаются между собою, и влево, какъ скоро они удаляются



Фиг. 126.

между собою. Раздѣленіе скалы металлическаго барометра (называемаго также анероидомъ) дѣлается чрезъ сравненіе его показаній съ показаніями ртутнаго барометра. На дугѣ по которой движется стрѣлка, отмѣчаютъ положенія, какія занимаетъ стрѣлка соответственно различнымъ высотамъ ртутнаго столба.

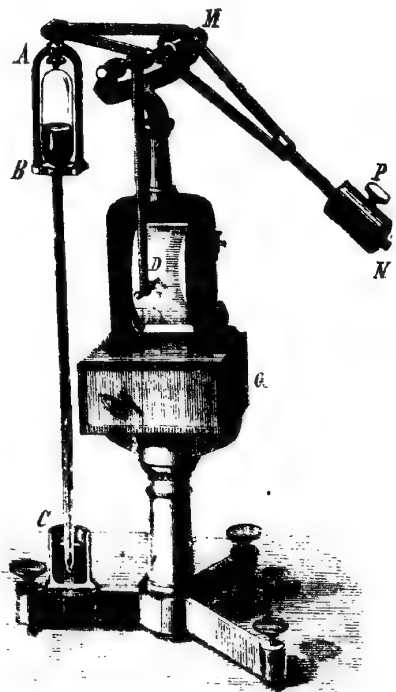
Металлическій барометръ чувствителенъ, удобенъ для переноски, но онъ не имѣетъ такой точности какъ ртутный, ибо тонкій механизмъ его и упругость самой трубки измѣняются съ теченіемъ времени.

§ 90. Вѣсовый барометръ; барометрографъ. Поставимъ на столѣ сосудъ со ртутью, въ которую погрузимъ открытый конецъ трубки Торричелли, но вмѣсто того чтобы держать трубку въ рукѣ, привѣсимъ ее къ чашкѣ вѣсовъ и приведемъ вѣсы въ равновѣсіе, положивъ достаточный грузъ на другую чашку. Мы найдемъ что этотъ грузъ будетъ равняться вѣсу стеклянной трубки и всего количества ртути въ ней заключающагося. Колонна ртути поддерживается атмосфернымъ давлениемъ и не обременяется своимъ вѣсомъ сосуда. Точнѣе сказать: давление ртутнаго столба внизъ только замѣняетъ собою давление, какое оказали бы воздухъ еслибы поверхность ртути въ сосудѣ была свободна въ томъ мѣстѣ гдѣ погружена трубка. Этотъ опытъ былъ уже извѣстенъ Паскалю, который говоритъ: „Трубка съ колонною ртути, если свѣсить ее, не вынимая отверстія изъ ртути и сохраняя ея положеніе, вѣситъ столько, сколько вѣситъ вещество трубки вмѣстѣ со столбомъ ртути, въ ней заключающимся. При этомъ пространство надъ ртутью можетъ быть велико или мало по произволу.“ (*Nouvelles experiences touchant le vide, VI exper.*)

Такимъ образомъ для опредѣленія величины атмосфернаго давления и его измѣненій можно, вмѣсто того чтобы измѣрять высоту ртутной колонны барометра, прямо взвѣшивать барометрическую трубку, привѣсивъ ее верхнимъ концомъ къ чашкѣ вѣсовъ, тогда какъ открытый ея конецъ погруженъ въ сосудъ со ртутью, помѣщенный на отдѣльной подставкѣ.

Такой барометръ въ первый разъ былъ устроенъ англійскимъ любителемъ физики, кавалеромъ Морландомъ въ началѣ прошлаго столѣтія. Въ послѣднее время подобные инструменты входятъ въ употребленіе, такъ какъ они удобно могутъ быть сдѣланы съ самопишущимъ механизмомъ. Фиг. 127 изображаетъ такой барометрографъ по устройству римскаго астронома, отца Секки. Чугунная барометрическая трубка въ верхней части оканчивается расширеннымъ резервуаромъ *AB*, и виситъ на рычагѣ *AMN*, подвижномъ около оси *M* и несущимъ на концѣ грузъ *P*. Длинная игла прикрѣпленная къ рычагу имѣетъ на концѣ карандашъ, пишущій на движущемся листѣ бумаги ея качанія. Бумага дается вертикальное равномерное движеніе помощью часоваго механизма, заключаю-

щагося въ ящикѣ Q. Качанія стрѣлки очевидно связаны съ измѣненіями атмосфернаго давленія. Увеличивается давленіе,



Фиг. 127.

и если барометра становится больше, трубка опускается приподнимая противобѣсъ P, стрѣлка отклоняется влѣво. Давленіе уменьшается, барометръ становится легче, стрѣлка подвигается вправо. По движущейся бумагѣ изображается зигзагообразная линія.

§ 91. Гдѣ надо наблюдать барометръ? Барометръ показываетъ собственно давленіе или упругость того слоя воздуха въ которомъ онъ находится; но такъ какъ давленіе это происходитъ оттого что верхніе слои воздуха давятъ на нижніе, то можно сказать

что барометръ измѣряетъ *вѣсъ* воздушнаго столба, давящаго на ртуть.

Представимъ себѣ что мы отдѣлили слой воздуха, въ которомъ находится барометръ, отъ окружающаго воздуха, заключили, на примѣръ, барометръ внутри сферической оболочки, замкнутой со всѣхъ сторонъ. Колонна ртути сохранитъ ту высоту, какую она имѣла въ моментъ, когда мы заключили барометръ въ оболочку. Воздухъ останется въ сжатомъ состояніи ибо стѣнки оболочки не позволяютъ ему расширяться и своимъ сопротивленіемъ замѣняютъ давленіе окружающаго воздуха. Куда бы мы ни перенесли такую замкнутую оболочку съ заключеннымъ въ ней барометромъ, высота ртути осталась бы неизмѣнною (предполагая что температура не измѣнилась). Но, если мы откроемъ сообщеніе между пространствомъ, гдѣ помѣщенъ барометръ, и окружающею средою, то высота столба ртути останется безъ перемѣны только въ томъ случаѣ, когда давленіе наружнаго воздуха будетъ въ равновѣсіи съ упругостію внутренняго, когда слѣдов. оно будетъ равно тому, какое было въ моментъ заключенія барометра въ облекающую его сферу. Если внѣшнее давленіе будетъ меньше, то упругость внутренняго воздуха преодолѣетъ его, и внутренній воздухъ будетъ выходить изъ оболочки до тѣхъ поръ, пока установится равновѣсіе. Колонна ртути понизится. Если наоборотъ давленіе наружнаго воздуха будетъ болѣе упругости внутренняго, то новое количество воздуха проникнетъ въ сферу, и колонна ртути подымется.

Изъ этого разсужденія ясно что, будетъ ли барометръ прямо помѣщенъ на открытомъ воздухѣ или заключенъ внутри оболочки *имѣющей сообщеніе съ окружающимъ воздухомъ* — высота ртутнаго столба будетъ одинакова. Потому для опредѣленія давленія атмосферы. нѣтъ надобности производить

опыты на открытомъ воздухѣ; барометръ въ комнатѣ стоитъ на такой же высотѣ какъ и на двоѣ, ибо комната черезъ двери, окна и проч. всегда находится въ сообщеніи съ окружающимъ воздухомъ.

§ 92. Измѣненія высоты барометра. Уже первые наблюдатели барометра замѣтили, что высота ртутной колонны не остается постоянною и что есть связь между повышеніемъ или пониженіемъ ртути въ барометрѣ и измѣненіями погоды. Барометръ сдѣлался однимъ изъ употребительнѣйшихъ снарядовъ. До сихъ поръ, по старому преданію, на обыкновенныхъ продажныхъ барометрахъ различныя высоты ртути отмѣчаются названіями: ясно, переменнo, дождь; хотя во многихъ случаяхъ состояніе погоды вовсе не соответствуетъ такому истолкованію показаній барометра.

Въ тропическихъ странахъ высота барометра въ теченіе сутокъ измѣняется съ большою правильностію. Два раза въ сутки (въ десять часовъ утра и въ десять часовъ вечера) барометръ достигаетъ наибольшей высоты и два раза (въ четыре часа утра и въ четыре часа вечера) наименьшей. Въ нашихъ широтахъ повышенія и пониженія барометра подвержены множеству случайностей и находятся въ ближайшей связи съ общею измѣнчивостію погоды подъ средними широтами. Общее состояніе погоды опредѣляется главнымъ образомъ господствующимъ вѣтромъ. Мы находимся попеременно на днѣ двухъ главныхъ воздушныхъ потоковъ: экваторіальнаго, или юго-западнаго, и полярнаго, или сѣверо-восточнаго. Потокъ полярный приноситъ воздухъ холодный, слѣд. болѣе плотный, и сопровождается *повышеніемъ* барометра. Экваторіальный потокъ приноситъ теплый и влажный воздухъ; барометръ *падаетъ*. Борьба и смѣна этихъ потоковъ служатъ главною причиною *случайныхъ* повышеній и пониженій барометра въ нашихъ странахъ.

§ 93. Изобрѣтеніе воздушнаго насоса.—Опытъ Торричелли показываетъ что можно образовать въ трубкѣ безвоздушное пространство. Воспользовавшись трубкою Торричелли, флорентинскіе академики произвели различныя опыты въ безвоздушномъ пространствѣ. Чтобы увеличить вмѣстимость верхней части трубки, гдѣ находится пустота, они припаивали къ трубкѣ стеклянный шаръ который могъ открываться сверху и въ который можно было помѣщать тѣла, назначенныя для опытовъ.

Около 1650 года Отто фонъ-Герике, бургомистръ

города Магдебурга, изобрѣлъ особый снарядъ для образованія безвоздушнаго пространства, носящій названіе *воздушнаго насоса*.

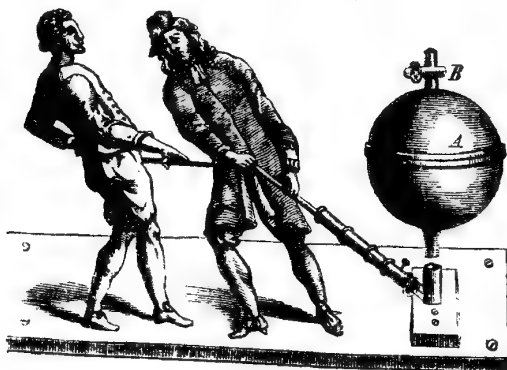
§ 94. Первые опыты Отто фонъ Герике.—Винная бочка, говоритъ Герике въ своемъ сочиненіи *Experimenta nova magdeburgica de vacuo spatio*, наполнялась водой и тщательно закрывалась чтобы воздухъ не проходилъ. Внизу (фиг. 128) приставлялся мѣдный на-



Фиг. 128.

сосъ и помощью его выкачивалась вода, которая по натуральной тяжести должна опускаться, оставляя по себѣ пространство пустое, безъ воздуха или иного тѣла... Насосъ былъ какой употребляется на пожарахъ... съ поршнемъ тщательно сдѣланнымъ и двумя кожаными клапанами, изъ которыхъ внутренній, въ отверстіи насоса служилъ для вхожденія воды въ насосъ, а внѣшній *b* для выпусканія ея. Насосъ придѣлывался въ нижней части бочки помощью желѣзнаго кольца и четырехъ гвоздей. Правда, въ первый разъ гвозди сломались... Замѣнили ихъ болѣе крѣпкими. Наконецъ достигнули того что три сильныхъ человека тащившіе поршень могли выгнать воду чрезъ внѣшній клапанъ. Слышался звукъ во всѣхъ

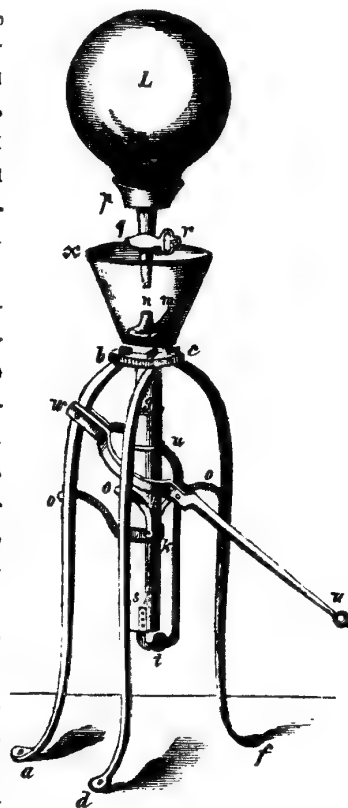
частяхъ бочки какъ бы звукъ воды сильно кипящей и продолжался пока бочка на мѣсто выкаченной воды наполнилась воздухомъ. Надо было помочь какъ-нибудь этому зву. Сдѣлана была малая бочка и вставлена въ большую. Насосъ съ длинной шейкой продѣланной сквозь стѣнку большой бочки прикрѣпился къ малой наполненной водою. Въ большую тоже налита вода, и работа возобновилась. Вода была вытянута изъ малой бочки и на мѣсто себя оставила несомнѣнно пустое пространство. Но когда день склонился къ вечеру, работы кончились и вслѣдствіе шума умолялъ, слышанъ былъ измѣничивъ и прерывистый звукъ, точно поющей птички, и такъ цѣлые три дня. Наконецъ открыто было отверстіе малой бочки и найдено что она въ значительной части наполнена водою и воздухомъ; однакожъ была и нѣкоторая часть пустая, такъ какъ, при открываніи, воздухъ вошелъ съ нѣкоторою силой.⁴ Замѣнивъ деревянную бочку большимъ мѣднымъ сосудомъ сложеннымъ изъ двухъ полушарій (магдебургскія полушарія) Отто фонъ-Герике могъ произвести опытъ въ болѣе совершенной формѣ. „Въ началѣ поршень ходилъ легко, но мало-по-малу двигать его сдѣлалось такъ трудно что два крѣпкихъ человека едва справлялись (фиг. 129). Когда, двигая поршень взадъ и впередъ, продолжали выкачива-



Фиг. 129.

ніе, надѣясь удалить весь воздухъ, внезапно мѣдный шаръ съ большимъ шумомъ, при общемъ ужасѣ, такъ сжался словно плотно измятое въ рукѣ или какъ будто сброшенъ былъ съ силой съ высочайшей башни. Причину приписали небрежности мастера сдѣлавшаго сосудъ не достаточно круглымъ⁴. Когда кранъ *B* открывался, воздухъ врывался стремительно и „не безопасно было налагать руку: такъ сильно она притягивалась⁴.

Чтобы производить опыты съ большими удобствами и совершенствомъ Герике тщательно переставлялъ самый насосъ, давъ ему форму изображенную на фиг. 130.



Фиг. 130.

Замѣчательный опытъ Герике произведенный съ магдебургскими полушаріями большихъ размѣровъ (около фута въ діаметрѣ). Когда воздухъ былъ выкаченъ, шестнадцать лошадей не въ силахъ были раздѣлить ихъ (фиг. 131 на слѣд. страницѣ). Когда же при большемъ усилии полушарія наконецъ раздѣлялись слышался звукъ какъ выстрѣлъ (*crepitum edunt instar scolopeti si explodatur*).

Опытъ съ магдебургскими полушаріями небольшихъ размѣровъ и въ настоящее время одинъ

изъ употребительнѣйшихъ для доказательства ат-



Фиг. 131.

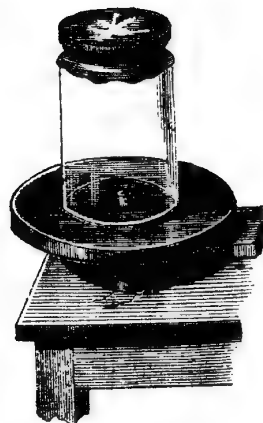
мосфернаго давленія (фиг. 132 и 133). Для той же цѣли употребляютъ цилиндръ затянутый пузыремъ, который (фиг. 134) по мѣрѣ разрѣженія воз-



Фиг. 132.



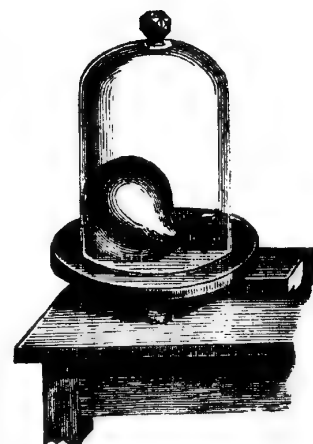
Фиг. 133.



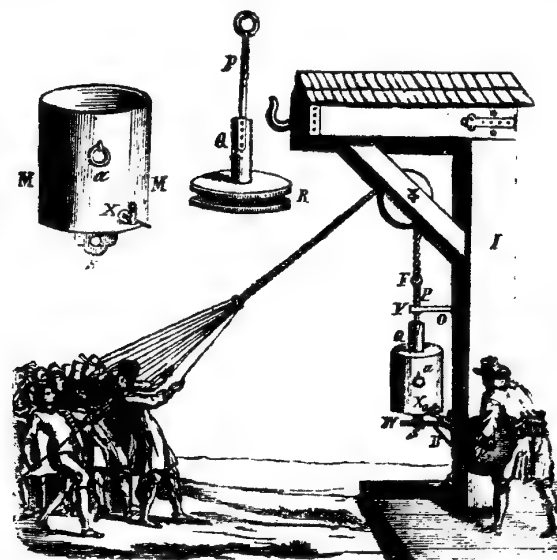
Фиг. 134.

духа вдавливается внутрь и наконецъ можетъ лопнуть съ значительнымъ шумомъ. Завязанный, но не надутый пузырь помѣщенный подъ колпакомъ насоса, (фиг. 135), по мѣрѣ удаленія воздуха, раздувается болѣе и болѣе.

Въ 1654 году на сѣздѣ въ Регенсбургѣ, въ присутствіи императора Фердинанда III, Отто фонъ-Герике произвелъ многіе изъ своихъ опытовъ и въ числѣ прочаго опытъ изобразенный на фиг. 136 и представляющій какъ двад-



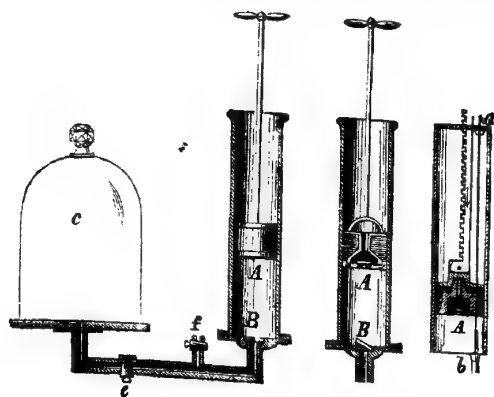
Фиг. 135.



Фиг. 136.

цать и болѣе человекъ *) не въ состояніи поднять поршень *R* плотно входящій въ сосудъ *MM*, когда подъ этимъ поршнемъ помощію канала соединеннаго съ большимъ сосудомъ, гдѣ образована была пустота, воздухъ разрѣжался и надо было для поднятія поршня вверхъ побѣждать атмосферное давленіе, не уравновѣшенное снизу.

§ 96. Объясненіе устройства и дѣйствія воздушнаго насоса. Фиг. 137, 138 и 139 могутъ служить для объясненія



Фиг. 137.

Фиг. 138. Фиг. 139.

началъ на которыхъ основано устройство воздушнаго насоса. Тѣло насоса состоитъ изъ цилиндра, въ который плотно входитъ поршень. Цилиндръ соединяется помощію канала съ тарелкой, на которой помещаются стеклянный колпакъ, или колоколъ воздушнаго насоса. На фиг. 137 изображено что каналъ снабженъ двумя кранами, *f* и *e*. Доведя поршень до основанія цилиндра, откроемъ кранъ *e* и закроемъ кранъ *f*. Поднимаемъ поршень. Воздухъ, находящійся подъ

*) Въ изображеніи опытовъ Герике заимствованы изъ его сочиненія. Обращаемъ вниманіе что на фиг. 128 и 129 насосы изображены не плотно прилегающими къ мѣстамъ своего укрѣпленія, очевидно, съ цѣлю показать гвозди коими укрѣпленіе производилось.

колпакомъ, будетъ расширяться, повинаясь своей упругости, и часть его перейдетъ въ цилиндръ, наполнивъ пустое пространство, какое оставляетъ подъ собою поршень. Доведя поршень до верхней точки его пути, закрываемъ кранъ *e* и открываемъ кранъ *f*. Подъ колпакомъ остается воздухъ разрѣженный, такъ какъ часть его перешла въ цилиндръ. Опускаемъ поршень, и сдвигая находящійся подъ нимъ воздухъ выгоняемъ его наружу черезъ открытый кранъ *f*. Когда поршень дойдетъ до основанія цилиндра, снова закрываемъ кранъ *f* и возобновляемъ сообщеніе колпака съ цилиндромъ, открывъ кранъ *e*. При поднятіи поршня новая часть воздуха переходитъ изъ колпака въ цилиндръ и при опусканіи поршня выгоняется наружу. Такимъ образомъ, поднимая и опуская поршень, можно разрѣжать болѣе и болѣе воздухъ, находящійся подъ колпакомъ.

Но еслибы воздушный насосъ былъ устроенъ такъ какъ онъ здѣсь описанъ, то это былъ бы инструментъ весьма несовершенный. Когда поршень опускается внизъ, то онъ выгоняетъ воздухъ изъ цилиндра, но не выгоняетъ его изъ той части канала которая находится между цилиндромъ и краномъ *f*; эта часть осталась бы наполненною воздухомъ, и притомъ, воздухомъ неразрѣженнымъ, такъ какъ кранъ находится въ сообщеніи съ окружающимъ воздухомъ. Далѣе, то обстоятельство, что всякій разъ нужно бы было открывать и закрывать кранъ, не позволило бы произвести выкачиваніе достаточно быстро.

Употребленіе вмѣсто крановъ клапановъ, одного *B* при соединеніи цилиндра съ каналомъ, другаго въ самомъ поршнѣ *A* (фиг. 138), позволяетъ въ значительной мѣрѣ избѣгнуть этихъ недостатковъ. Оба клапана открываются вверхъ. Когда поршень поднимается вверхъ, то давленіе внѣшняго воздуха удерживаетъ клапанъ *A* въ закрытомъ состояніи. Въ то

же время воздухъ, наполняющій колпакъ и каналъ, расширяясь, открываетъ клапанъ *B*, наполняя пустоту, образуемую подъ поршнемъ. Когда поршень, опускается внизъ, клапанъ *B* закрывается; воздухъ находящійся подъ поршнемъ, сдвливается и, открывая клапанъ *A*, выходитъ наружу. Такъ какъ поршень плотно прилегаетъ во дну цилиндра, то пространство, гдѣ можетъ остаться невытнанный воздухъ, самое незначительное.

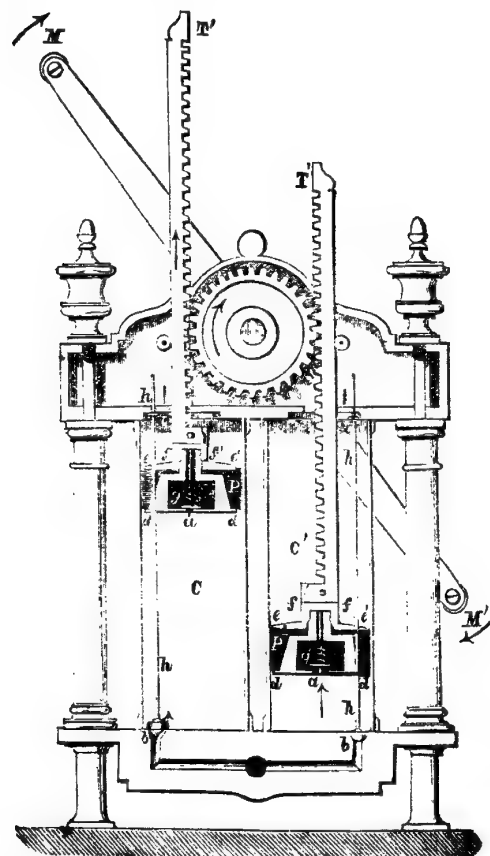
Впрочемъ устройство клапана при основаніи цилиндра ведетъ къ неудобству своего рода. Когда воздухъ подъ колпакомъ значительно разреженъ, то его упругость становится недостаточною для того, чтобы побѣдить вѣсъ клапана *B* и приподнять его. Слѣдовательно, будетъ бесполезно продолжать выкачиваніе. Для избѣжанія этого недостатка отверстіе между цилиндромъ и каналомъ закрывается не клапаномъ, а особою пробкой, введенною французскимъ механикомъ Фортеномъ. Металлическій стержень (фиг. 139) проходитъ чрезъ тѣло поршня и можетъ двигаться назадъ и впередъ, но впрочемъ такъ, что воздухъ не можетъ пройти между нимъ и тѣломъ поршня. Когда поршень опускается, онъ увлекаетъ съ собою этотъ стержень до тѣхъ поръ, пока коническая пробка плотно закрываетъ отверстіе. Во все время, пока поршень движется внизъ, онъ, скользя по стержню, нажимаетъ его, а слѣдовательно и пробку внизъ. Когда поршень начинаетъ подниматься, онъ увлекаетъ съ собою стержень, и отверстіе открывается. При этомъ верхняя часть стержня встрѣчаетъ крышку цилиндра, которая не позволяетъ ему подниматься выше. Опускающійся поршень вновь закрываетъ отверстіе и т. д.

Самый поршень устраивается слѣдующимъ образомъ. Его внутренняя часть состоитъ изъ довольно толстой металлической трубки, расширенной внизу и помѣщенной на металлическомъ основаніи. На трубку надѣвается рядъ кружковъ изъ кожи, пропитанныхъ масломъ и плотно сжатыхъ между собою помощію верхней металлической крышки, нажимаемой гайкою. Нажимая кожаные кружки, болѣе или менѣе сильно, одинъ на другой, можно увеличить или уменьшить діаметръ поршня, такъ чтобы онъ плотно входилъ въ цилиндръ и воздухъ не могъ проникнуть между нимъ и стѣнками цилиндра. Во внутреннемъ каналѣ поршня находится маленькій клапанъ, состоящій изъ плоской пуговки, плотно закрывающей маленькое отверстіе, къ которому она слегка прижимается спиральною пружиной. Устройство цилиндра и поршня воздушнаго насоса ясно видно на фиг. 140, изображающей насосъ съ двумя цилиндрами.

Колоколъ воздушнаго насоса помѣщается на стеклянномъ

хорошо отшлифованномъ кругѣ, называемомъ *тарелкой* воздушнаго насоса. Края колокола также отшлифованы и смазываются саломъ, для того, чтобы во всѣхъ точкахъ касались тарелки, и вѣшній воздухъ не могъ проникнуть подъ колоколъ.

§ 97. Насосъ съ двумя цилиндрами. Въ первое время послѣ изобрѣтенія воздушнаго насоса, его устраивали съ однимъ цилиндромъ. Но насосъ съ однимъ цилиндромъ представляетъ неудобство, состоящее въ томъ, что чѣмъ болѣе выкачивается воздухъ, тѣмъ труднѣе становится качать. Дѣйствительно, по



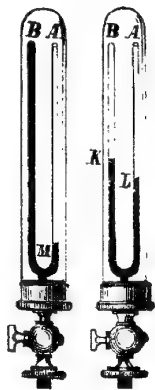
Фиг. 140.

мѣръ того, какъ разрѣжается воздухъ подъ колоколомъ, качающій долженъ побѣждать, кромѣ тренія поршня о стѣнки цилиндра, еще давленіе вѣшняго воздуха, не вполне уже уравновѣшивающагося упругостію внутренняго.

Дѣлая воздушный насосъ съ двумя цилиндрами (фиг. 140), можно избѣгнуть этого неудобства и въ то же время удвоить дѣйствіе. Помощію рукоятки и зубчатого колеса поршни цилиндра приводятся въ движеніе такъ что когда одинъ опускается, другой поднимается. Вѣшній воздухъ давитъ одинаково какъ на тотъ, такъ и на другой поршень, и они уравновѣшиваются взаимно, причемъ совокупное ихъ давленіе дѣйствуетъ на прочно помѣщенную ось зубчатого колеса. Такимъ образомъ поршни представляютъ собою какъ бы двѣ чашки вѣсовъ, обремененныя одинаковыми грузами, и могутъ быть легко приведены въ движеніе.

§ 98. Манометръ для узнанія степени разрѣженія воздуха. — Чтобъ узнать степень разрѣженія воздуха подъ колоколомъ насоса иногда присоединяютъ къ тарелкѣ барометрическую трубку, опускающуюся въ сосудъ со ртутью. По мѣрѣ того какъ воздухъ разрѣжается подъ колоколомъ, а слѣдовательно и въ соединенной съ нимъ трубкѣ, ртуть поднимается въ этой послѣдней, и еслибы пустота подъ колоколомъ могла быть доведена до той степени, какая бываетъ въ барометрической пустотѣ, то ртуть въ трубкѣ насоса и въ трубкѣ барометра стояла бы на одинаковой высотѣ.

Впрочемъ, нѣтъ надобности брать длинную барометрическую трубку для того, чтобъ опредѣлить степень пу-

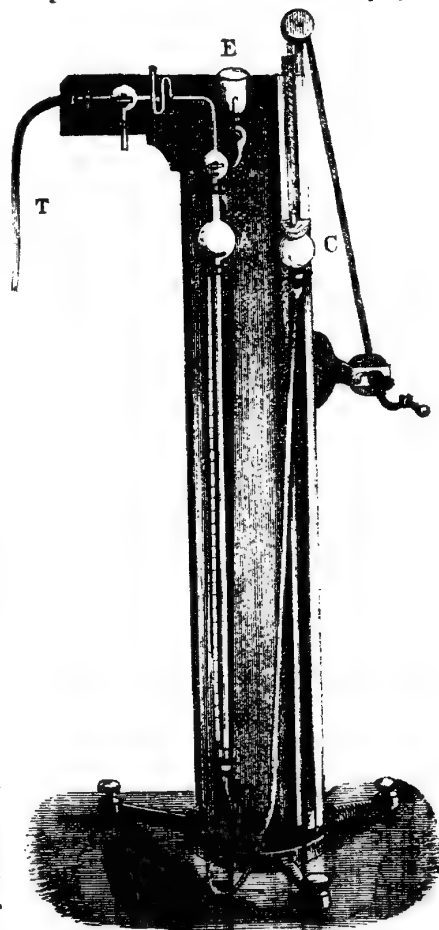


Фиг. 141 и 142.

стоты подъ колоколомъ насоса. Обыкновенно берутъ укороченный барометръ *M* (фиг. 141) заключаемый въ запаянной сверху стеклянной трубкѣ, соединенной съ каналомъ, идущимъ отъ тарелки къ тѣлу насоса. Такой барометръ начинаетъ понижаться только тогда, когда давленіе внутренняго воздуха уменьшилось уже значительно. Тогда по разности высотъ *K* и *L* ртути (фиг. 142) въ закрытомъ колѣнѣ *B* (вверху котораго образуется Торричеллиева пустота) и въ открытомъ *A* можно судить о давленіи или упругости воздуха, остающагося въ снарядѣ послѣ выкачиванія.

Помощію насоса хорошаго устройства можно, разрѣдить воздухъ на столько что разность высотъ ртути въ двухъ колѣнахъ укороченнаго барометра будетъ меньше двухъ и даже одного миллиметра.

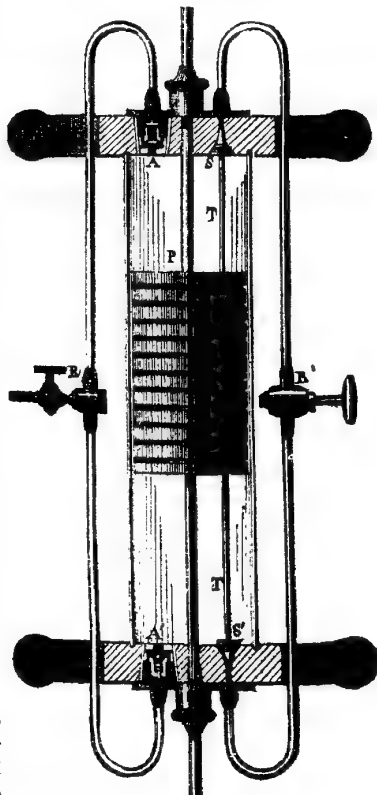
§ 99. Ртутный воздушный насосъ. Въ новѣйшее время для полученія болѣе совершенной пустоты чѣмъ какая можетъ быть достигнута насосомъ употребляютъ барометрическій приемъ, образуя Торричеллиеву пустоту поверхъ ртути. Фиг. 143 изображаетъ такую ртутную



Фиг. 143.

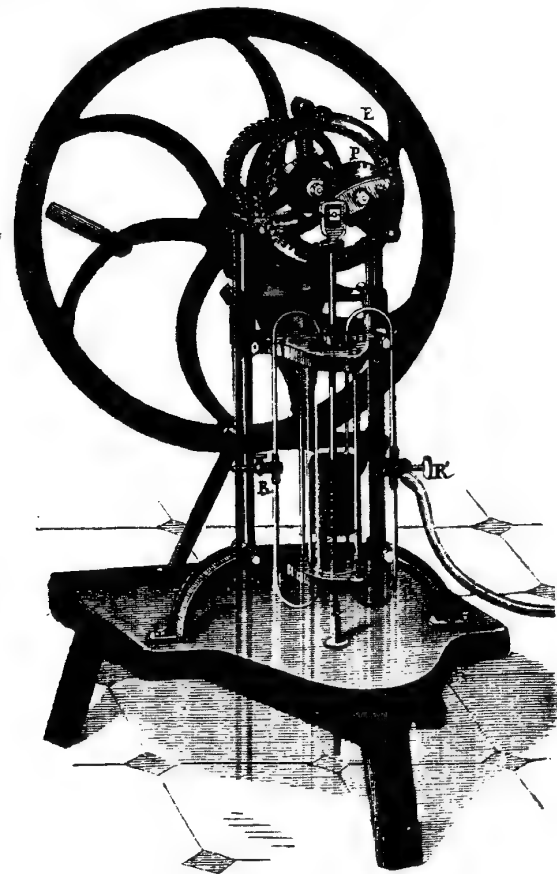
пневматическую машину. Плотная каучуковая трубка соединяет барометрическую трубку имѣющуюверху резервуаръ *A* съ сосудомъ *C* наполненнымъ ртутью. Когда сосудъ *C* поднимаютъ, ртуть постепенно наполняетъ барометрическую трубку и резервуаръ *A*, причемъ воздухъ изъ трубки и резервуара выходитъ наружу такъ какъ сообщеніе съ окружающимъ воздухомъ остается свободнымъ. Затѣмъ это сообщеніе прерываютъ, и сосудъ *C* опускаютъ внизъ. Ртуть въ барометрической трубкѣ понижается оставляя резервуаръ *A* пустымъ. Поворачиваютъ кранъ такъ что чрезъ трубку *T* воздухъ пространства въ которомъ хотятъ произвести пустоту, приходитъ въ сообщеніе съ пустымъ резервуаромъ и разрѣжается. Повторяя операцию много разъ можно достигнуть весьма совершенной пустоты. Помощію подобнаго насоса Гейслера (механикъ въ Боннѣ) первый сталъ готовить трубки посяща его имя и употребляемыя въ опытахъ съ прохожденіемъ электричества чрезъ разрѣженные газы.

§ 100. Воздушный насос Делейля. Французскій строитель физическихъ инструментовъ, Делейль, въ послѣднее время дѣлаетъ насосы, въ устройствѣ которыхъ есть замѣчательная особенность. Тѣло поршня новаго насоса Делейля все металлическое (фиг. 144) значительно длиннѣе чѣмъ въ обыкновенныхъ насосахъ и не находится въ непосредственномъ прикосновеніи со стѣнками цилиндра, между которыми и поршнемъ остается промежутокъ около $\frac{1}{50}$ миллиметра. При такомъ поршень избѣгается употребленіе масла какииъ умащаются поршень и стѣнки цилиндра въ обыкновенныхъ насосахъ. Металлическое тѣло поршня имѣетъ на своей поверхности рядъ горизонтальныхъ бороздокъ. Опытъ показалъ что такой поршень заграждаетъ путь воздуху почти также какъ еслибы онъ



Фиг. 144.

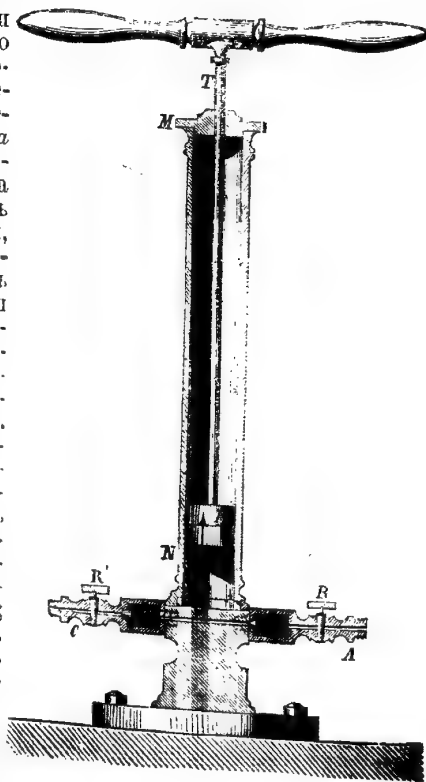
плотно прилегать къ стѣнкамъ, и если помощію его раздѣлить два пространства, — одно пустое, другое наполненное, или одно заключающее въ себѣ сжатый воздухъ, другое обыкновенный, — то воздухъ будетъ проходить чрезъ промежутокъ съ чрезвычайнымъ затрудненіемъ и крайне медленно (подобно какъ чрезъ трубку съ очень узкимъ діаметромъ и рядомъ небольшихъ расширеній на ея протяженіи). Пробки *S* и *S'* попеременно приводятъ насосъ, помощію крана *K* и каучуковой трубки, въ сообщеніе съ резервуаромъ откуда выкачивается воздухъ. Клапаны *A* и *A'* выпускаютъ выгоняемый воздухъ чрезъ каналъ съ краномъ *R*. Машина слѣдовательно съ двойнымъ дѣйствіемъ. Поршень приводится въ движеніе вверхъ и внизъ (фиг. 145).



Фиг. 145.

помощью колеса съ рукояткой и особаго механизма. Помощью этого насоса нельзя достигнуть значительной степени разреженія воздуха, но онъ удобенъ для того чтобы скоро и въ значительной мѣрѣ, достаточной для большей части опытовъ, разрѣжать воздухъ въ приемникахъ значительнаго объема. Если каналъ R , вмѣсто того чтобы оставлять открытымъ, соединить съ нѣкоторымъ резервуаромъ, то выгоняемый насосомъ воздухъ будетъ поступать въ этотъ резервуаръ и въ немъ сжиматься. Машина можетъ слѣдовательно служить и для сжатія воздуха.

§ 101. Ручной насосъ для разреженія и сжатія воздуха. Онъ состоитъ (фиг. 146) изъ металлическаго цилиндра, въ которомъ движется плотно поршень, одѣтый кожей. Нижнія боковыя трубки A и C снабжены кранами R и R' и содержатъ каждая по маленькому клапану, состоящему изъ конической пробочки. Эти металлические пробочки a и c входятъ въ коническія отверстія и слегка прижимаются къ нимъ спиральною пружинкой, окружающею тонкій стержень пробочки. Каналъ C посредствомъ трубки свинцовой или каучуковой соединяется съ пространствомъ, изъ котораго предполагается бачать воздухъ или газъ. Когда краны R и R' открыты, и поршень P помощью рукоятки поднимается вверхъ, воздухъ подъ поршнемъ разрежается, давление внѣшняго воздуха плотно закрываетъ отверстіе a ; отверстіе c открывается, и воздухъ или газъ изъ пространства распространяется въ цилиндръ насоса. Когда поршень опускается, онъ сжимаетъ находящійся подъ нимъ газъ; отверстіе c закрывается.



Фиг. 146.

a открывается, и газъ выгоняется наружу или нагнетается въ резервуаръ въ случаѣ если насосъ служить въ качествѣ сжимающаго.

§ 102. Законъ Мариотта. Объемъ данной массы воздуха или газа обратно пропорціоналенъ давленію, подъ которымъ этотъ воздухъ или газъ находится въ различныхъ случаяхъ, если только его температура одинакова во всѣхъ этихъ случаяхъ. — Такимъ образомъ, если данная масса газа подъ определеннымъ давленіемъ занимаетъ объемъ V , то подъ давленіемъ, которое вдвое болѣе, ея объемъ будетъ $\frac{1}{2}V$, подъ давленіемъ въ десять разъ большимъ объемъ будетъ $\frac{1}{10}V$ и т. д.

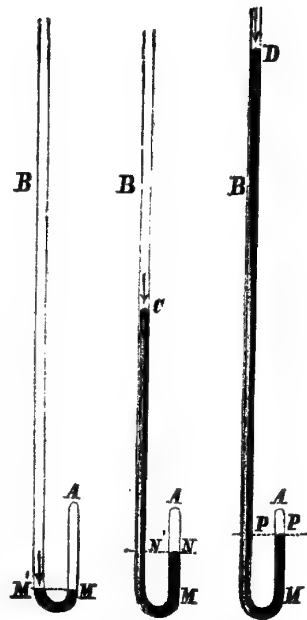
Этотъ законъ былъ открытъ около 1660 англійскимъ ученымъ Бойлемъ (Robert Boyle), и нѣсколько лѣтъ спустя изслѣдовалъ французскимъ ученымъ, аббатомъ Мариоттомъ не знавшимъ, какъ думаютъ, о трудахъ Бойля). По имени французскаго изслѣдователя самый законъ названъ закономъ Мариотта.

Замѣтимъ, что вмѣсто выраженія: давленіе, подъ которымъ газъ находится, можно сказать упругость, какую газъ имѣетъ, такъ какъ въ случаѣ равновѣсія массы газа его упругость уравнивается испытываемое имъ давленіе.

Для оправданія этого закона Мариоттъ бралъ длинную загнутую трубку (фиг. 147 и слѣд.), которой одно колено открыто, а другое, короткое, запаяно при вершинѣ. Когда ртуть въ такой трубкѣ находится на одинаковой высотѣ (фиг. 147) какъ въ длинномъ, такъ и въ короткомъ колѣнѣ, то давленіе атмосферы, дѣйствующее при M' , уравнивается упругостію воздуха, наполняющаго пространство AM , и этотъ воздухъ находится слѣдов. подъ давленіемъ одной атмосферы. Прибавляютъ въ длинное колено ртути до тѣхъ поръ, пока высота ртутной колонны $N'C$ надъ уровнемъ NN' (фиг. 148) будетъ равна высотѣ, какую имѣетъ во время опыта ртуть въ трубкѣ барометра. Въ такомъ случаѣ воздухъ въ короткомъ колѣнѣ будетъ подъ давленіемъ двухъ атмосферъ. Найдемъ что занимаемое имъ пространство AN будетъ вдвое менѣе пространства AM . Если колонна рту-

ти (фиг. 149) DP будетъ вдвое болѣе барометрической колонны, то воздухъ въ короткомъ колѣнѣ будетъ подъ давлениемъ *трехъ* атмосферъ. Найдемъ, что пространство AP будетъ *втрое* меньше AM .

Чтобъ оправдать законъ Мариотта для давлений, которыя меньше атмосфернаго, берутъ запаянную съ одного конца цилиндрическую трубку около метра длинной, наполняютъ большую часть ея ртутью (напр. около $\frac{1}{2}$ всей длины), оставивъ воздухъ въ остальномъ пространствѣ; закрываютъ отверстие пальцемъ и опрокидываютъ трубку въ глубокий сосудъ со ртутью (на фиг. 150 и 151 представлена только верхняя часть сосуда). Воздухъ занимаетъ верхнюю часть трубки, и ртуть, когда палецъ вынутъ,

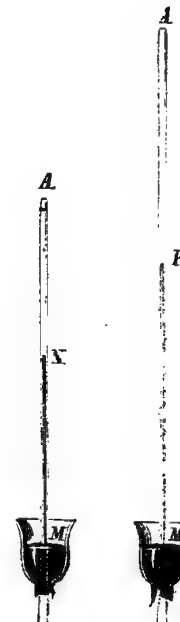


Фиг. 147. Фиг. 148. Фиг. 149.

останавливается на определенной высотѣ. Погружаютъ трубку въ ртуть до тѣхъ поръ, пока уровень ртути будетъ одинаковъ какъ въ сосудѣ, такъ и внутри трубки. Потомъ повышаютъ трубку; воздухъ при этомъ будетъ расширяться и ртуть поднимется въ трубкѣ. Продолжаютъ повышение до тѣхъ поръ, пока высота ртутной колонны MN будетъ равняться $\frac{1}{2}$ высоты ртути въ барометрѣ. Въ такомъ случаѣ упругость воздуха заключающагося въ пространствѣ AN , равняется давлению половины атмосферы, такъ какъ эта упругость въ совокупности съ давленіемъ столба ртути MN , уравновѣшиваетъ давленіе атмосферы, дѣйствующее на свободную поверхность ртути въ чашкѣ; другими словами, воздухъ въ AN находится подъ давленіемъ *половины атмосферы*. Можно убѣдиться, что въ такомъ случаѣ пространство AN (фиг. 150) будетъ вдвое болѣе пространства AM , какое занималъ воздухъ въ первомъ опытѣ. Повышая трубку до тѣхъ поръ, пока высота столба MP (фиг. 151) будетъ равняться $\frac{2}{3}$ высоты ртути въ барометрѣ, будемъ имѣть воздухъ подъ

давленіемъ $\frac{2}{3}$ атмосферы, и легко убѣдиться что пространство AP будетъ втрое болѣе пространства AM .

Законъ Мариотта былъ повѣряемъ въ нынѣшнемъ столѣтіи различными учеными (особенно важны изслѣдованія французскаго ученаго Реньйо) помощью опытовъ произведенныхъ въ большихъ размѣрахъ при давленіи доходящемъ до 30 атмосферъ. Изслѣдованія эти показали что газы вообще не слѣдуютъ строго закону Мариотта. Для воздуха, впрочемъ, отступленія весьма незначительныя, такъ что во всѣхъ обыкновенныхъ приложенияхъ этотъ газъ можно считать строго подчиненнымъ упомянутому закону. Отступленіе гораздо значительнѣе для углекислоты, которая принадлежитъ къ числу газовъ при сильномъ давленіи обращающихся въ жидкое состояніе. При давленіи 15 атмосферъ объемъ данной массы углекислоты уменьшается противъ объема, занимаемаго ею при давленіи одной атмосферы, не въ 15 разъ, какъ требуетъ законъ Мариотта, но въ 16. Водородъ также отступаетъ отъ закона Мариотта, но иначе. При увеличивающемся давленіи объемъ водорода уменьшается нѣсколько менѣе, чѣмъ какъ того требуетъ законъ Мариотта.



Фиг. 150. Фиг. 151.

Назвавъ V объемъ занимаемый данною массою газа при давленіи P , и V' объемъ той же массы газа при давленіи P' , по закону Мариотта имѣемъ:

$$\frac{V}{V'} = \frac{P'}{P} \text{ или } VP = V'P'$$

Вообще, обозначая соотвѣтствующіе объемы и давленія одинаковыми значками, будемъ имѣть:

$$VP = V'P' = V''P'' = V'''P''' = \dots$$

Слѣд. законъ Мариотта можно выразить такъ: *произведение объема данной массы газа на давленіе, подъ какимъ она находится, остается постояннымъ во всѣхъ случаяхъ (если только не мѣняется температура).*

Законъ можно выразить иначе слѣдующимъ образомъ. Когда данная масса газа при увеличивающемся давленіи уменьшается въ объемѣ, то ея плотность увеличивается, ибо то же количество

газа помещается въ меньшемъ объемѣ. Такъ какъ при этомъ мы имѣемъ дѣло съ тою же самою массою газа, то вѣсъ ея остается безъ перемѣн. Назовемъ этотъ вѣсъ p . Если объемъ газа V при давленіи P имѣетъ вѣсъ p , то вѣсъ единицы объема или плотность d въ этомъ случаѣ будетъ $d = \frac{p}{V}$. Плотность въ другомъ случаѣ, когда то же количество p газа подъ давленіемъ P имѣетъ объемъ V' ; будетъ $d' = \frac{p}{V'}$.

Слѣд.

$$\frac{d}{d'} = \frac{V'}{V} \text{ или } \frac{d}{d'} = \frac{P}{P'}$$

т.-е. плотность газа прямо пропорциональна давленію, подъ которымъ онъ находится.

§ 103. Задача. 1) Определить величину давленія атмосферы на n квадр. единицъ при высотѣ барометра H (плотность ртути = 13,59. Выразить атмосферное давленіе, когда ртутный барометръ показываетъ высоту H , высотой столба жидкости, которой плотность d .

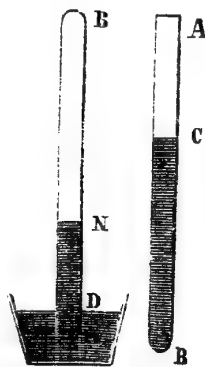
2) Длинная, вертикальная, строго цилиндрическая трубка (фиг. 152) открытымъ концомъ погружена въ глубокой сосудъ сортутой, содержащій въ себѣ сухой воздухъ въ пространствѣ отъ A до N (гдѣ $AN = h$ миллиметровъ) и колонну ртути въ пространствѣ отъ N до M (гдѣ $MN = h'$ мм.). Давленіе атмосферы равняется H мм. Какъ велика упругость воздуха въ пространствѣ AN или другими словами, подъ какимъ давленіемъ находится этотъ воздухъ? Какъ велика сдѣлается высота колонны ртути и длина пространства, занимаемаго воздухомъ, если поднять трубку на h'' мм. вверхъ изъ ртути (такъ что вертикальная длина трубки будетъ $h + h' + h''$)?

3) Цилиндрическая трубка AB , (фиг. 153), которой длина h , наполнена до C ртутью ($CB = h'$). Опрокинемъ эту трубку открытымъ концомъ въ ртуть и погрузимъ такъ что длина AD погруженной части будетъ равняться b . Спрашивается, какъ велика будетъ длина ND пространства, занятого ртутью и длина NB пространства, занятого воздухомъ? Давленіе атмосферы равняется H .

§ 104. Ливеръ или пипета. Ливеръ есть трубка, нѣсколько расширенная въ срединѣ (фиг. 154)



Фиг. 152.



Фиг. 153.

и имѣющая два отверстія: O и C . Отверстіе C узкое, напримѣръ миллиметра два или три въ діаметрѣ; отверстіе O такой величины, чтобъ его удобно было плотно закрыть пальцемъ. Опускаемъ ливеръ въ жидкость, оставляя отверстіе O открытымъ. Понятно, что жидкость остановится внутри ливера на той же высотѣ какъ въ сосудѣ. Закрывъ отверстіе O пальцемъ вынимаемъ ливеръ изъ жидкости. Когда ливеръ находится въ воздухѣ, на отверстіи C



Фиг. 154.

давить снизу атмосфера; сверху—упругость воздуха, находящагося въ пространствѣ отъ O до A и вѣсъ столба жидкости AC . Такъ какъ при наполненіи ливера отверстіе O было открыто и воздухъ имѣлъ свободный доступъ и слѣд. внутри ливера имѣлъ упругость, равную упругости окружающаго воздуха, то сумма давленій дѣйствующихъ при отверстіи C сверху внизъ, болѣе атмосфернаго давленія. Потому въ первый моментъ по вынутіи ливера часть жидкости вытечетъ чрезъ отверстіе C . Но когда нѣкоторое количество жидкости выйдетъ, объемъ, занимаемый воздухомъ, внутри ливера увеличится, упругость этого воздуха уменьшится, и весьма скоро наступитъ моментъ, когда упругость воздуха въ совокупности съ вѣсомъ столба жидкости будетъ равняться величинѣ атмосфернаго давленія. Жидкость не будетъ вытекать изъ ливера и можетъ быть перенесена куда угодно.

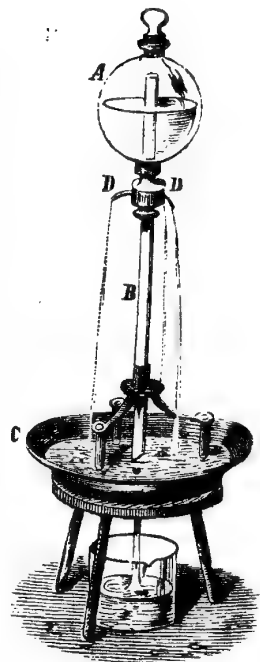
Еслибы вмѣсто того, чтобъ оканчиваться снизу однимъ узкимъ отверстіемъ, ливеръ оканчивался довольно широкимъ дномъ, снабженнымъ цѣлымъ рядомъ узкихъ отверстій или дырочекъ, то мы имѣли бы снарядъ называемый волшебной лейкою. Оставляя отверстіе, находящееся вверху волшебной лейки, открытымъ или закрывая его пальцемъ, можно или дозволить жидкости вытекать, или прекратить истеченіе.

§ 104. **Переменяющийся фонтанъ.** — Переменяющийся фонтанъ можно разсматривать какъ обращенный ливеръ. Въ ливеръ отверстіе *O* (фиг. 154), чрезъ которое воздухъ можетъ проникать внутрь снаряда, находится вверху; въ переменяющемся фонтанѣ этому отверстию соответствуетъ нижній конецъ трубки *B* (фиг. 155), входящей въ сосудъ *A*, наполненный водою и плотно закрытый сверху пробкою. Отверстію *C* ливера соответствуютъ три узкія трубочки *D*. Когда нижнее отверстіе трубки *B* открыто, воздухъ свободно проникаетъ внутрь сосуда *A*. Жидкость вытекаетъ чрезъ отверстія *D*. Каждое изъ этихъ отверстій снизу испытываетъ давленіе атмосферы, а сверху, во-первыхъ, также давленіе атмосферы, такъ какъ воздухъ имѣетъ свободный доступъ внутрь сосуда, и кромѣ того давленіе столба жидкости *AD*. Повинуясь этому послѣднему давленію, жидкость вытекаетъ. Но если закрыть нижнее отверстіе трубки *B*, то истеченіе прекратится, по той же причинѣ по какой оно прекращается въ ливерѣ, когда закрыто отверстіе *O*. Особенность въ устройствѣ переменяющагося фонтана состоитъ въ томъ, что отверстіе трубки *B* закрывается не пальцемъ, но самою вытекающею жидкостью. Вытекающая жидкость падаетъ на тарелку *C*, имѣющую небольшое отверстіе, чрезъ которое жидкость стекаетъ въ стаканъ, стоящій подъ тарелкой. Такъ какъ отверстіе тарелки мало, то изъ нея меньше утекаетъ жидкости чѣмъ сколько на нее падаетъ изъ сосуда *A*. Потому уровень жидкости на тарелкѣ повышается и наконецъ закрываетъ отверстіе трубки *B*. Тогда истеченіе прекращается. Но мало-по-малу жидкость перетекаетъ въ стаканъ, и отверстіе трубки *B* снова открывается. Новое количество жидкости вытекаетъ изъ отверстій *D*, пока снова закроется отверстіе трубки *B*, и т. д.

Почему, когда истеченіе прекращается, жидкость въ трубкѣ *B* имѣетъ высоту равную высотѣ *AD* жидкости въ вершинѣ сосуда?

§ 105. **Героновъ *) фонтанъ.** Чрезъ трубку *CD* (фиг. 156)

*) Геронъ, александрійскій ученый родившійся около 120 г. до Р. Х., славился какъ изобретатель многихъ снарядовъ дѣй-

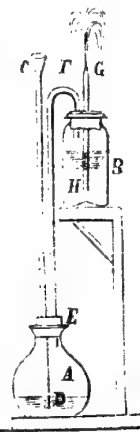


Фиг. 155.

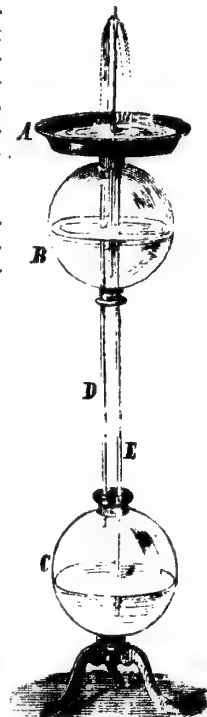
вода наливается въ сосудъ *A*, находящійся при помощи загнутой вверху трубки *EF* въ сообщеніи съ сосудомъ *B*, предварительно наполненнымъ водою. Чрезъ пробку сосуда *B* проходитъ трубка *GH*, оканчивающаяся узкимъ отверстіемъ *G*. Давленіе столба воды *CD* сжимаетъ воздухъ, находящійся въ сосудѣ *A*, въ трубкѣ *EF* и верхней части сосуда *B*. Сжатый такимъ образомъ воздухъ давитъ на поверхность воды въ сосудѣ *B* и заставляетъ ее бить фонтаномъ изъ отверстія *G*.

Фиг. 157 представляетъ другую форму Геронова фонтана. Вода, налитая на тарелку *A*, наполняетъ трубку *E*, сжимаетъ воздухъ въ сосудѣ *C*, и это сжатіе при помощи трубки *D* передается воздуху, находящемуся въ верхней части сосуда *B*, предварительно наполненнаго водою. Вслѣдствіе давленія сжатого воздуха, вода бьетъ фонтаномъ чрезъ третью короткую трубку, входящую въ сосудъ *B*.

§ 108. **Законъ Архимеда въ приложеніи къ газамъ. Аэростаты. Законъ Архимеда прилагается къ газамъ также какъ и къ жидкостямъ. Тѣло, окружен-**



Фиг. 156.



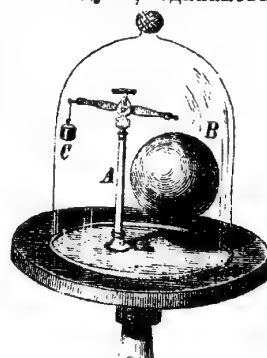
Фиг. 157.

ное газомъ, испытываетъ со стороны этого послѣдняго давленіе снизу вверхъ, котораго величина выражается въсомъ объема газа, равнаго объему тѣла. Выражая этотъ законъ въ той же формѣ, въ какой онъ выражается обыкновенно относительно тѣлъ, погруженныхъ въ жидкость можно сказать: *всякое тѣло, находящееся въ воздухѣ или вообще въ газѣ,*

создаваемыхъ водою и воздухомъ. Отъ него осталось сочиненіе Pneumatica.

теряет столько веса, сколько весит вытесняемый имъ объемъ воздуха или газа.

Слѣдующій опытъ, ясно показываетъ потерю веса, какую претерпѣваютъ тѣла въ воздухѣ. На коромыслѣ вѣшаются два тѣла весьма различнаго объема — одно, напримѣръ, запаянный стеклянный баллонъ *P*, другое, — небольшая гиря *C* которыхъ вѣсъ, когда они находятся въ воздухѣ, одинаковъ. Помѣстивъ уравновѣшенное такимъ образомъ коромысло подъ колоколъ воздушнаго насоса, выкачиваютъ воздухъ. Та сторона гдѣ виситъ шаръ, перевѣшивается. Легко видѣть причину этого явленія. Два эти тѣла въ воздухѣ *казались* имѣющими одинаковый вѣсъ, потому что шаръ *B* по значительности своего объема теряетъ болѣе веса чѣмъ гиря *C*, и эта потеря скрывала избытокъ веса шара *B* надъ гирею *C*.



Фиг. 158.

Если мы помѣстимъ внутри жидкости тѣло котораго вѣсъ менѣе веса равнаго ему объема этой жидкости, напримѣръ кусокъ дерева въ водѣ, то такое тѣло, не будучи удерживаемо, поднимается вверхъ и располагается на поверхности жидкости. Понятно, что тѣло, помѣщенное въ воздухѣ и котораго вѣсъ менѣе веса равнаго объема воздуха, должно также подниматься вверхъ вопреки дѣйствию тяжести. Между газообразными тѣлами есть многія которыя легче атмосфернаго воздуха. Такъ водородный газъ въ 14 разъ легче воздуха, находящагося при томъ же давленіи и той же температурѣ. Наполнивъ водородомъ шаръ, котораго оболочка непроницаема для газа, можно этому шару дать такіе размѣры, что вытѣсняемый имъ вѣсъ воздуха будетъ болѣе веса оболочки вмѣстѣ съ заключающимся въ ней газомъ. Такой шаръ долженъ подниматься вверхъ. На этомъ основано устройство *аэростатовъ* или *воздушныхъ шаровъ*.

Представимъ себѣ, напримѣръ, что объемъ шара равняется 500 кубич. метрамъ. Кубическій метръ воздуха при темпера-

турѣ 0° и давленіи 760 миллим. вѣситъ 1,29 килограмм. Кубическій метръ водорода въ тѣхъ же условіяхъ вѣситъ только 0,09 килограмм. Число 1,2 килограмм., представляющее избытокъ веса воздуха надъ весомъ водорода, выражаетъ величину силы, съ какою воздухъ стремится поднять вверхъ кубич. метръ водорода. Сила, дѣйствующая на весь шаръ, т.-е. на 500 куб. метровъ, будетъ 600 килограмм. Такимъ образомъ, если вѣсъ оболочки и груза, который шаръ долженъ поднимать, менѣе этого числа, то такой шаръ полетитъ вверхъ.

Послѣ того какъ Кавендишъ (англійскій ученый) открылъ въ 1766 году чрезвычайную легкость водорода, нѣкоторые ученые дѣлали попытки наполнять водородомъ пузыри, шары изъ бумаги и т. п., надѣясь что они поднимутся вверхъ; но эти тѣла оказались слишкомъ проницаемыми для водорода, который легко проходитъ чрезъ самыя малыя скважины, и опытъ удался только съ мыльными пузырями. Въ 1782 году братья Монгольфьеры устроили первый воздушный шаръ, употребляя для наполненія его не водородъ, но разогрѣтый воздухъ. Шаръ пущенный ими публично въ Анноне (Annonay) въ началѣ 1783 года имѣлъ до 35 футовъ въ діаметръ и былъ сдѣланъ изъ полотна обложеннаго бумагой. Огонь, разведенный подъ отверстіемъ находившимся внизу шара, нагревалъ воздухъ внутри его. Воздухъ какъ и всѣ тѣла расширяется отъ тепла и становится менѣе плотнымъ. Такимъ образомъ при достаточномъ нагреваніи вѣсъ шара съ заключающимся въ немъ теплымъ воздухомъ сдѣлался менѣе веса вытѣсняемаго имъ объема холоднаго воздуха, и шаръ поднялся вверхъ на значительную высоту.

Какъ скоро этотъ опытъ сдѣлался извѣстенъ въ Парижѣ, любители физики открыли подписку съ цѣлью повторить опытъ Монгольфьеровъ. Подъ руководствомъ профессора Шарля былъ изготовленъ шаръ 12 футовъ въ діаметръ. Для наполненія его Шарль, рѣшившись употребить водородъ вмѣсто газа Монгольфьера (какъ называли тогда нагрѣтый воздухъ слу-

живший для наполненія шара, ибо думали, что горькое доставляло особый легкий газъ, который и служилъ причиною поднятія шара). Оболочка шара Шарля была сдѣлана изъ тѣсты, пропитанной лакомъ изъ каучука, раствореннаго въ кипящемъ терпентинѣ. Этотъ первый шаръ съ водородомъ былъ пущенъ въ августѣ 1783 года.

Первое воздушное путешествіе было совершено въ октябрѣ 1783 г. молодымъ химикомъ Пилатромъ Дерозье, отличавшимся страстію къ опаснымъ опытамъ, и маркизомъ Д'Арландъ на *монгольфьеръ*, второе Шарлемъ и Роберомъ на аэростатъ наполненный водородомъ.

Въ числѣ замѣчательнѣйшихъ воздушныхъ путешествій, предпринятыхъ съ ученою цѣлю, упомянемъ о двухъ путешествіяхъ французскихъ ученыхъ въ 1804 году: въ первомъ участвовали Гей-Люссакъ и Бю, во второмъ одинъ Гей-Люссакъ (поднялся до высоты 7000 метровъ.) Подобное путешествіе совершили въ Парижѣ въ 1850 году Бараль и Биксио. Въ новѣйшее время замѣчательны путешествія Глешера директора метеорологическаго отдѣленія обсерваторіи въ Гриничѣ. Въ одномъ изъ своихъ путешествій (1862 г.), вмѣстѣ съ аэронавтомъ Коксвелемъ г. Глешеръ поднялся до высоты 11000 метровъ.

ОТДѢЛЪ ВТОРОЙ.

З В У К Ъ.

§ 107. Что такое звукъ? Звукъ есть *ощущеніе* особаго рода доставляемое намъ органомъ слуха, подобно тому какъ свѣтъ есть ощущеніе доставляемое органомъ зрѣнія. Звукомъ называютъ также и то физическое явленіе отъ котораго это ощущеніе происходитъ. Въ этомъ смыслѣ „звукъ *)“ есть движеніе способное возбудить въ ухѣ ощущеніе особаго рода, которое этому органу свойственно“. Такъ понимается слово звукъ когда, напримѣръ, говорится о происхожденіи, распространеніи, скорости звука и т. п.

§ 108. Въ какомъ состояніи находятся тѣла издающія звуки? Тѣла издающія звукъ находятся въ состояніи *дрожанія*. Такъ, бѣлая струна натянутая на темномъ фонѣ, будучи приведена въ сотрясеніе смычкомъ или пальцемъ, явственно для глаза обнаруживаетъ свое дрожаніе принимая расширенную форму (фиг. 159) и



Фиг. 159.

неясныя очертанія, вслѣдствіе быстраго движенія то въ ту то въ другую сторону. Это дрожаніе если оно

*) Опредѣленіе англійскаго ученаго начала нынѣшняго столѣтія, Йонга.

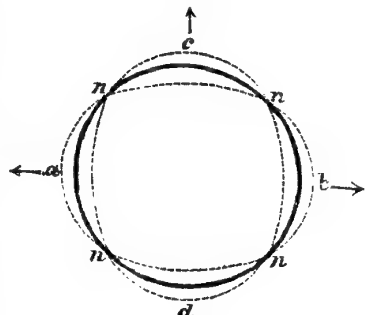
достаточно сильно и быстро, сопровождается звукомъ. Если по краю стекляннаго колокола провести смычкомъ, то колоколъ издастъ сильный звукъ и придетъ въ сильное дрожаніе, какъ можно убѣдиться касаясь его рукой или, еще лучше, поднося къ нему упругій шарикъ на нити (фиг. 160). Шарикъ получаетъ замѣтные толчки отбрасывающіе его въ сторону. Можно убѣдиться что толчки эти не во всѣхъ пунктахъ колокола одинаковы. Есть точки при окружности колокола гдѣ они значительно слабѣе чѣмъ въ другихъ мѣстахъ. Объ общемъ состояніи звучащаго колокола удобнѣе всего судить, наливъ его до половины водою. На до поверхности жидкости (фиг. 161) явственно обнаруживаются четыре системы волнъ, раздѣли-
 щимися въ покой (узлы). Дрожащій колоколъ состоитъ явственно изъ четырехъ частей колеблющихся такъ что онъ послѣдовательно удлинняется (фиг. 162) то по направленію отъ *a* къ *b* то по направленію отъ *c* къ *d*; потому когда части *a* и *b* сближаются между собою, части *c* и *d* удаляются одна отъ другой и наоборотъ; уз-



Фиг. 160.

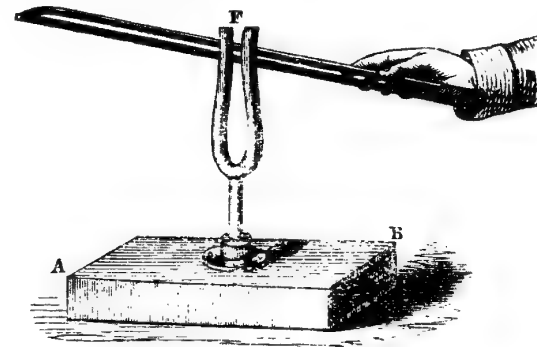


Фиг. 161.



Фиг. 162.

лы и суть точки перегиба раздѣляющія части имѣющія противоположное движеніе. Дрожанія звучащаго *диапозона*, то-есть стальной полосы согнутой какъ показано на фиг. 163 легко можно обнаружить прикоснове-



Фиг. 163.

ніемъ руки, приближеніемъ шарика, а также замѣтитъ и глазомъ, особенно если приклеить воскъ къ концу одной изъ вѣтвей фольговое остріе и наблюдать его кажущееся расширеніе. Дрожаніе *диапозона*, состоящее въ томъ что образующая его полоса изгибается послѣдовательно какъ показано на фиг. 164, такъ что вѣтви *an* и *bn* качаются напоминая движеніе взадъ и впередъ маятника, можно также обнаружить *графически*. Для этого берутъ стеклянную пластинку, коптятъ ее на лампѣ (снявъ съ лампы Фиг. 164. Фиг. 165.



Фиг. 164.



Фиг. 165.

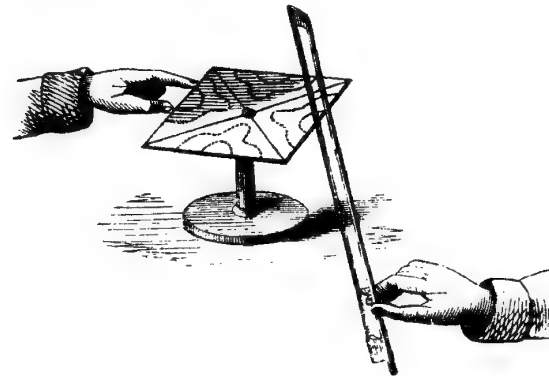
стекло) и, приведя *диапазонъ* съ остріемъ въ дрожаніе помощью смычка, проводятъ пластинку (фиг. 163) близь *диапозона* такъ что остріе его снимаетъ копоть съ пла-

стинки въ тѣхъ мѣстахъ гдѣ касается ея во время движенія. Результатъ будетъ тотъ же, если, помѣстивъ пластинку въ покой, проведемъ по ней остриемъ дрожащаго діапазона. На пластинкѣ изобразится волнистая кривая линія, каждый зигзагъ которой соотвѣтствуетъ движенію вѣтви діапазона взадъ и впередъ, или какъ это говорится, одному *полному* колебанію діапазона. Не трудно понять происхожденіе зигзаговъ. Если, взявъ мѣлъ въ руку, провести имъ по доскѣ сверху внизъ, то, очевидно, онъ начертитъ на доскѣ прямую линію, но если, опуская руку, въ то же время дадимъ ей быстрое боковое движеніе справа налѣво и слѣва направо, то мѣлъ, подобно острию діапазона, начертитъ зигзаги. Если измѣримъ время въ продолженіе котораго происходило движеніе діапазона или пластинки, то сочтя зигзаги будемъ знать число колебаній соотвѣтствующихъ этому времени, а отсюда и число колебаній какое діапазонъ дѣлаетъ въ единицу времени, напримѣръ въ секунду. Въ этомъ приложеніе графической методы къ опредѣленію числа колебаній.

Дрожаніе дощечекъ круглыхъ, четырехугольныхъ или иной формы, дѣлаемыхъ обыкновенно изъ металла или стекла, изучается по методу открытой къ концу прошлаго столѣтія Хладни.*) „Я наблюдалъ, говорить онъ, что дощечка стеклянная или металлическая издаетъ различные звуки, если ее ударяютъ въ разныхъ точкахъ.... Въ это время появилось въ журналахъ описаніе инструмента изобрѣтеннаго въ Италіи.... и состоящаго изъ ряда колоколовъ приводимыхъ въ звучаніе помощію одного или двухъ смычковъ. Это дало мнѣ идею воспользоваться смыч-

*) Хладни (Chladni) родомъ изъ Венгріи, родился въ 1756 году въ Виттенбергѣ. Знаменитъ изслѣдованіями въ области акустики. Замѣчательны также его изслѣдованія о происхожденіи аэролитовъ. Не занимая никакой официальной должности, онъ провелъ значительную часть жизни въ переѣздахъ и путешествіяхъ, читая лекціи объ акустикѣ, показывая изобрѣтенные имъ инструменты. Умеръ въ Бреславлѣ 1827 года.

комъ для изученія дрожаній различныхъ звучащихъ тѣлъ.... Изъ стеклянной круглой дощечки укрѣпленной въ центрѣ я могъ извлекать смычкомъ различные звуки, но характеръ движенія соотвѣтствующій этимъ разнымъ звукамъ оставался мнѣ неизвѣстнымъ. Опыты съ электрическими фигурами на смолѣ (посыпанной порошками нѣкоторыхъ веществъ).... дали мнѣ мысль что различные колебательныя движенія звучащей дощечки представляются въ разномъ видѣ если посыпать на ея поверхность мелкаго песку.... Фигура представившаяся моимъ глазамъ въ первомъ опытѣ съ этимъ приемомъ походила на звѣзду съ десятью или двѣнадцатью лучами“.... Фиг. 166 изображаетъ опытъ

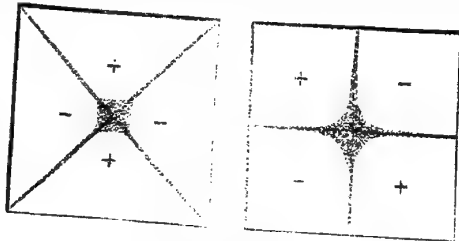


Фиг. 166.

Хладни съ четвероугольною дощечкою. Получаемыя фигуры называемыя *Хладниевыми* чрезвычайно разнообразны и соотвѣтствуютъ каждая особому звуку. Полученіе ихъ облегчается если во время движенія смычка прижимать тѣ или другія точки дощечки остриемъ или просто однимъ или двумя пальцами. Песокъ очевидно собирается въ тѣхъ мѣстахъ которыя во время дрожанія остаются въ покой, находясь на границѣ частей имѣющихъ противоположное дви-

женіе, гдѣ слѣдовательно дощечка испытываетъ перегибы.

Пластинки изображенныя на фиг. 167 представляютъ, напри-
мѣръ, четыре части движущіяся такъ что когда отмѣченныя зна-



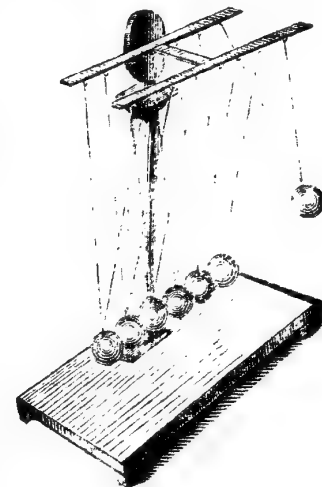
Фиг. 167.

комъ + поднимаются вверхъ, выше средняго уровня дощечки, отмѣченныя знакомъ — опускаются внизъ ниже уровня. По-
мѣстивъ пальцы какъ на фиг. 166 можно получить болѣе слож-
ную фигуру, соответствующую болѣе быстрому дрожанію и
болѣе высокому звуку.

Изъ совокупности описанныхъ опытовъ заключа-
емъ что, когда тѣло звучитъ, оно находится въ со-
стояніи дрожанія, причемъ *части его колеблются*
одновременно взадъ и впередъ, а все тѣло испыты-
ваетъ малыя періодическія измѣненія формы.

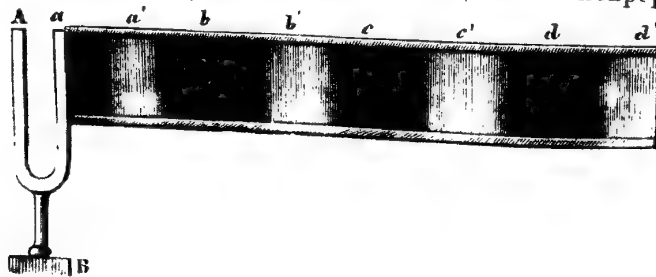
§ 109. Сообщение дрожаній звучащаго тѣла воздуху.
Дрожанія звучащихъ тѣлъ, напримѣръ колокола, стру-
ны, діапазона, сообщаются отчасти воздуху, отчасти
тѣмъ твердымъ подставкамъ, на которыхъ укрѣплены
эти тѣла. Чтобы получить понятіе какъ дрожанія со-
общаются воздуху, обратимся къ простѣшему при-
мѣру колебанія полосы предъ отверстіемъ трубки
(фиг. 169 на стр. 142 изображаетъ такое колебаніе
нѣтъ діапазона предъ отверстіемъ трубки). Когда
полоса быстро идетъ вправо, она, очевидно сжи-
маетъ предъ собою воздухъ, и это сжатіе, въ про-
долженіе времени пока полоса движется вправо, рас-
пространяется на нѣкоторую опредѣленную длину.
Спрашивается на какое разстояніе простирается это
сжатіе и какъ оно передается дальше? Глазomъ мы
не видимъ сжатія воздуха и вообще не можемъ наблю-

дать его непосредственно. Потому для рѣшенія ска-
занныхъ вопросовъ должны прибѣгать къ теоретиче-
скимъ разсужденіямъ и къ сравненію съ другими из-
вѣстными явленіями. Теоретическія соображенія (въ
основаніе которыхъ полагается допущеніе что каж-
дое элементарное измѣненіе въ данномъ мѣстѣ упру-
гой среды, такой какъ воздухъ, даетъ себя *последова-*
тельно чувствовать во всей массѣ, распространяясь
движеніемъ *равномернымъ*) приводятъ къ заключенію
что длина на какую распространяется сжатіе, или
какъ это говорится длина *сжатой волны* воздуха, за-
виситъ отъ *времени*, въ продолженіе котораго полоса
совершила свое движеніе и не зависитъ отъ величины
пути пройденнаго полосой въ это время. Что ка-
сается втораго вопроса, то обсужденіе его облег-
чается сравненіемъ *последовательной передачи сжа-*
тія въ воздухъ съ передачею толчка чрезъ рядъ упру-
гихъ шаровъ. Если шаромъ изъ слоновой кости А
(фиг. 168) ударить остальные шары, то замѣтимъ что
всѣ они останутся на сво-
ихъ мѣстахъ, исключая по-
слѣдняго, который отъ пе-
реданнаго импульса отско-
читъ впередъ. При этомъ
последовательно каждый
шаръ моментально сжима-
ется и приходитъ въ нор-
мальный видъ, передавъ
сжатіе слѣдующему до по-
слѣдняго, предъ которымъ
нѣтъ шара, въ который онъ
могъ бы упереться, пере-
давая дѣйствіе. Подобнымъ
образомъ, слой воздуха сжа-
тый двинувшеюся вправо



Фиг. 168.

и остановившеюся полосой, въ слѣдующій промежутокъ времени приходитъ въ нормальное состояніе, сжавъ передъ собою новый слой той же длины. Въ слѣдующій промежутокъ и второй слой приходитъ въ покой, передавъ сжатіе третьему и т. д. Отъ полосы бѣжитъ *сжатая волна*. Еслибы полоса двинулась влѣво, то вправо отъ себя она оставила бы пространство съ *разрѣженнымъ* воздухомъ, — *разрѣженную* волну, той же длины какъ сжатая если время движенія было то же. Разрѣженіе распространилось бы также какъ сжатіе: отъ полосы бѣжала бы вправо *разрѣженная волна*. Если, наконецъ, полоса непрерывно



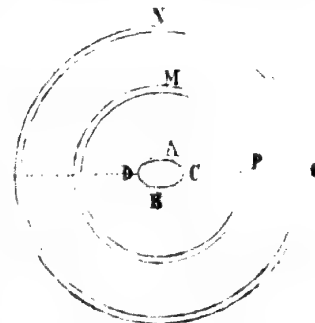
Фиг. 169.

вно движется вправо и влѣво, т.-е. дрожитъ, то она посылаетъ въ трубу рядъ послѣдовательныхъ сжатій и разрѣженій, или рядъ волнъ, въ которомъ за каждою сжатою слѣдуетъ разрѣженная той же длины *). Длина эта остается постоянною, дѣлаетъ ли полоса большіе или малые размахи, такъ какъ качанія ея, подобно качаніямъ маятника, несохронны (§ 37). Когда

*) Когда полоса движется влѣво отдѣльнымъ движеніемъ, она идетъ отъ слоя воздуха, находящагося въ нормальномъ состояніи; въ случаѣ движенія вправо и впередъ она, поступая влѣво, удаляется отъ сжатого слоя. Но должно ли это изменить наше разсужденіе? Нисколько, ибо ближайшая къ полосѣ часть слоя когда полоса, послѣ момента остановки, начинаетъ поступать влѣво, уже успѣла придти въ нормальное состояніе и слѣдовательно явленіе происходитъ одинаково въ обоихъ случаяхъ.

полоса сдвигается, напримѣръ, четыре полныхъ качанія взадъ и впередъ, предъ нею будетъ восемь волнъ: четыре сжатыхъ и четыре разрѣженныхъ (фиг. 169). Тѣло помѣщенное на другомъ концѣ трубки когда волны достигнутъ его, будетъ получать послѣдовательные импульсы, то-есть смѣны усиленнаго и ослабленнаго давленія.

Мы выбрали простѣйшій случай. Когда дѣло идетъ о тѣлѣ звучащемъ въ неограниченной массѣ воздуха, тогда то состояніе въ какое приводится воздухъ колебаніями тѣла не представляется воображенію съ такою простотою какъ въ примѣрѣ полосы и трубки. Во всякомъ случаѣ, какъ показывае теорія, оправдываемая опытомъ, звучащее тѣло можно разсматривать какъ центръ безконечнаго числа звуковыхъ лучей или радіусовъ, по которымъ звуковыя волны распространяются съ равною постоянною скоростью во всѣ стороны. Такъ импульсъ данный воздуху колоколомъ въ моментъ удлиненія его отъ *Д* къ *С* (фиг. 170) почувствуется по истеченіи опредѣленнаго времени въ нѣкоторомъ сферическомъ слой *MP*, по истеченіи еще нѣ котораго времени въ концентрическомъ съ первымъ слой *MQ* и такъ далѣе. За удлиненіемъ слѣдуетъ сокращеніе: это измѣненіе формы даетъ новый импульсъ, распространяющійся вслѣдъ за первымъ. Волны бѣгущія отъ колокола какъ центра, очевидно, не одинаковы на разныхъ радіусахъ, хотя и бѣгутъ съ одинакою скоростью; по радіусу *СQ* посылается, напримѣръ, сжатіе въ то время какъ по радіусу *AM* бѣжитъ разрѣженіе. Достигая предметовъ, находящихся въ воздухѣ, звуковыя волны даютъ имъ малые періодическіе толчки соотвѣтственно колебаніямъ звучащаго тѣла.

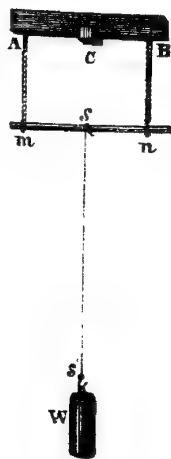


Фиг. 170.

§ 111. Сообщеніе дрожаній звучащаго тѣла твердымъ подставкамъ. Дрожанія звучащаго тѣла сообщаются вообще всѣмъ тѣламъ находящимся съ нимъ въ прикосновеніи, и во многихъ случаяхъ твердыя части, на которыхъ укрѣплено звучащее тѣло, имѣютъ существенное значеніе для распространенія его дрожаній. Такъ, если взять діапазонъ за его ножку въ

руку, приведемъ его въ дрожаніе дѣйствіемъ смычка или ударомъ (напримѣръ, деревяннаго молоточка, покрытаго кожею или сукномъ), діапазонъ издастъ звукъ который будетъ слышаться весьма слабо. Но если поставимъ ножку діапазона на доску, прислонимъ, напримѣръ, къ покрышкѣ стола, то звукъ слышится гораздо сильнѣе. Толчки ножки, существованіе которыхъ не трудно доказать опытомъ, сообщаются твердой поверхности приходящей, въ свою очередь, въ колебаніе и ударяющей въ воздухъ, который такимъ образомъ получаетъ импульсы отъ большой поверхности, тогда какъ въ первомъ случаѣ получали ихъ только отъ поверхности діапазона. Дѣйствіе усиливается. То мѣсто руки гдѣ она прикасается въ первомъ опытѣ къ ножкѣ діапазона также получаетъ толчки, но мягкія и разнородныя части руки, принимая толчки, не передаютъ ихъ далѣе (вообще мягкія волокнистыя тѣла, какъ вата, поглощаютъ звукъ, такъ какъ дрожанія чтобы распространяться въ нихъ должны дѣлать переходъ чрезъ разнородныя части, всегда сопровождающійся потерей движенія).

Колеблющаяся струна сама по себѣ обыкновенно не въ состояніи дать воздуху толчки достаточно сильныя чтобы произвести впечатлѣніе на ухо наблюдателя. Такъ если повѣсить стальную тонкую проволоку на желѣзномъ прутѣ привѣшенномъ въ свою очередь къ деревянной перекладинѣ двумя веревками *Am* и *Bn* (фиг. 171) и обременить грузомъ килограммовъ въ 14, то такая струна приведенная въ дрожаніе не издастъ замѣтнаго звука: мягкія веревки не передаютъ замѣтнымъ образомъ колебаній деревянной перекладинѣ. Но если ту же струну привѣсить прямо къ деревянной доскѣ *AB* (фиг. 172), то звукъ ея будетъ весьма слышенъ, ибо дрожанія чрезъ точку привѣсненія, получающую толчки при всякомъ качаніи струны, передаются доскѣ ударяющей въ воздухъ поверхностью значительной величины. Въ случаѣ колокола, дрожанія главнымъ образомъ



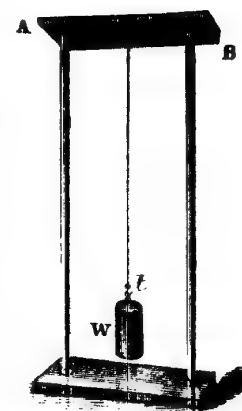
Фиг. 171.

распространяется черезъ воздухъ, ибо ударяющая поверхность имѣетъ значительную величину.

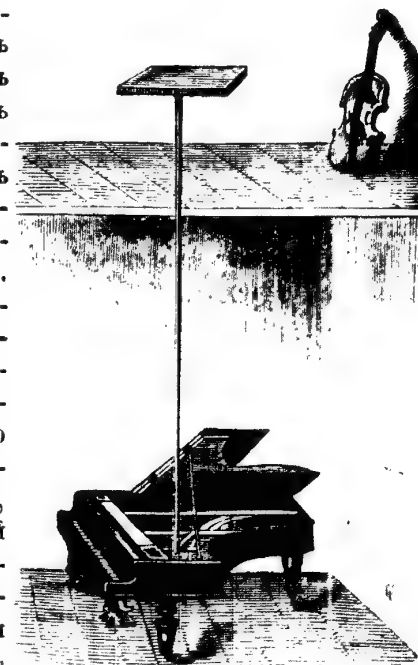
Въ слѣдующихъ опытахъ твердое тѣло служитъ главнымъ образомъ для передачи дрожаній. Въмѣсто короткой ножки укрѣпимъ діапазонъ на весьма длинномъ прутѣ. Дрожаніе чрезъ этотъ длинный прутъ передается доскѣ точно также какъ еслибы ножка непосредственно ея касалась.

Въ фортепіано струны натянуты на доскѣ принимающей ихъ дрожанія и передающей ихъ воздуху. Помѣстимъ

фортепіано въ нижнемъ этажѣ и чрезъ потолокъ проведемъ деревянную палку въ верхній этажъ, укрѣпивъ ее плотно въ продѣланномъ отверстіи помощью тѣлнепроводящихъ звука. Если отверстіе задѣлано тщательно, никакой звукъ изъ нижняго этажа не проникнетъ къ верхнему. Но если прислонить палку къ перекладинѣ, гдѣ на фортепіанной доскѣ укрѣплены струны, то дрожанія перекладины передадутся чрезъ шестъ въ верхъ.



Фиг. 172.



Фиг. 173.

ний этажъ, и если на конецъ шеста положить доску или еще лучше какой-нибудь музыкальный инструментъ, напримеръ гитару, скрипку, контрабасъ (со струнами или безъ нихъ ибо дѣло въ ящикъ, на которомъ укрѣплены струны), то звуки передадутся съ замѣчательною силою.

Дрожанія могутъ распространяться и чрезъ жидкія тѣла. Подъ водою можно слышать звуки производимые въ воздухѣ и въ воздухѣ звуки производимые подъ водою. Еще сильнѣе слышны звуки производимые въ водѣ если наблюдатель самъ погрузится въ воду, такъ какъ въ такомъ случаѣ нѣтъ утраты движенія происходящей всякій разъ при переходѣ дрожаній изъ одной среды въ другую.

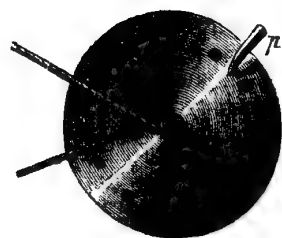
§ 112. Образованіе звуковыхъ волнъ другими способами кромѣ дрожанія твердыхъ тѣлъ. Устройство сирены. Звуковыя волны можно произвести въ воздухѣ и другими способами кромѣ дрожанія твердыхъ тѣлъ. Стремительное вторженіе воздуха въ пространство гдѣ онъ разрѣженъ, напримеръ въ пустоту подъ пузыремъ прорываемымъ отъ давленія атмосферы, сопровождается сильнымъ стукомъ. Взрывъ зажженной смѣси водорода и кислорода пораждастъ звуковую волну значительной силы. Къ тому же результату ведетъ быстрое расширеніе сжатого газа (разрывъ, напримеръ, пузыря, приведеннаго въ сообщеніе съ резервуаромъ заключающимъ сжатый воздухъ), внезапный переходъ изъ твердаго состоянія тѣла въ газообразное въ случаѣ воспламененія пороха и гремучихъ составовъ и т. д. Наконецъ можно не прибѣгая къ дрожаніямъ твердыхъ тѣлъ возбудить въ воздухѣ цѣлый послѣдовательный рядъ звуковыхъ волнъ, и вслѣдствіе того *длѣющийся звукъ* помощію толчковъ даваемыхъ воздуху струею газа *прерывисто* истекающего изъ отверстія. На этомъ началѣ основано устройство *сирены*, изобрѣтенной французскимъ ученымъ первой половины нынѣшняго столѣтія, Коньяромъ де Латуромъ *).

*) Идея прерывистаго истеченія въ приложеніи къ образованію звука была еще прежде Коньяра де Латура осуществлена

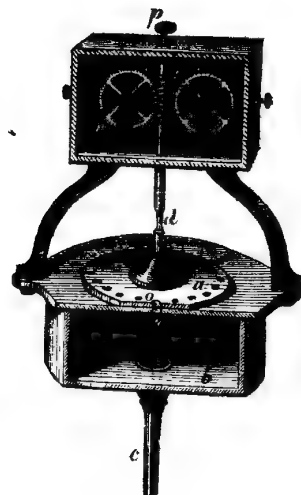
Такъ какъ звукъ, говоритъ онъ, рождаемый инструментами происходитъ, главнымъ образомъ, какъ думаютъ физики, вслѣдствіе правильнаго ряда многихъ толчковъ, какіе инструменты даютъ воздуху своими колебаніями, то мнѣ казалось естественнымъ думать что помощію механизма, который былъ бы устроенъ такъ чтобъ ударять воздухъ съ такою же скоростію и такою же правильностію, можно произвести музыкальный звукъ. Такой результатъ я дѣйствительно получилъ, заставляя потокъ воздуха выходить изъ мѣха чрезъ маленькое отверстіе, противъ котораго ставился вращающійся кругъ, приводимый въ движеніе или дѣйствіемъ самого потока или какимъ механическимъ средствомъ. Кругъ въ той части поверхности, которая прилежала къ отверстию, имѣлъ рядъ косыхъ дырочекъ, расположенныхъ на возможно равныхъ разстояніяхъ. Вслѣдствіе движенія круга дырочки проходили послѣдовательно предъ отверстіемъ, которое такимъ образомъ открыто когда мимо его проходитъ сквозное мѣсто круга и тотчасъ закрывается слѣдующимъ цѣльнымъ мѣстомъ. Такой прерывистый потокъ вслѣдствіе быстроты движенія круга даетъ вышнему воздуху правильный рядъ толчковъ, рождающихъ звукъ подобный человеческому голосу и болѣе или менѣе высокий, смотря по быстротѣ движенія круга.

Фигура 174 изображаетъ сирену въ простѣйшей формѣ. Кругъ съ дырочками быстро вращается предъ отверстіемъ трубки *p*, изъ которой дуетъ потокъ воздуха. На фиг. 175 представлена сирена болѣе сложнаго устройства. Воздухъ гонимый большимъ мѣхомъ входитъ чрезъ трубку *c* въ барабанъ снаряда, въ верхней части котораго сдѣланъ рядъ дырочекъ *o*, соотвѣтствующихъ дырочкамъ круга вращающагося на оси *d*. Стѣнки дырочекъ, какъ видно въ разрѣзѣ при *o*, направлены косвенно такъ что воз-

англійскимъ ученымъ, Робинсономъ, помощію клапана, находящагося при отверстіи откуда выходила струя, и то закрывавшагося, то открывавшагося.



Фиг. 174.



Фиг. 175.

духъ, переходя изъ отверстій барабана въ отверстіи круга, давитъ въ сторону на стѣнки послѣднихъ (на чертежѣ вправо) и поворачивать кругъ, приходящій такимъ образомъ мало по малу въ быстрое вращеніе. Отверстія то открываются, то закрываются; окружающій воздухъ получаетъ импульсы отъ послѣдовательно выбрасываемыхъ изъ отверстій воздушныхъ массъ. Если сравнить звуковыя волны, рождаемыя въ воздухѣ сиреною съ тѣми какія производитъ, напримѣръ, діапазонъ, то не трудно усмотрѣть въ чемъ между ними главное различіе. Когда колеблется вѣтвь діапазона, она посылаетъ отъ себя *сжатую* волну когда идетъ впередъ и *разрѣженную* волну когда идетъ назадъ. Въ случаѣ сирены, когда отверстія открыты, выходящая струя рождаетъ сжатую волну (хотя и инымъ образомъ чѣмъ вѣтвь діапазона), а когда отверстія закрыты, внѣшній воздухъ не испытываетъ дѣйствія и стремится возвра-

титься въ нормальное состояніе. Всѣ окружающіе предметы, до которыхъ достигаютъ волны, въ случаѣ діапазона испытываютъ попеременно постепенное усиленіе и постепенное уменьшеніе давленія, въ случаѣ сирены рядъ прерывистыхъ толчковъ. Это замѣчаніе важно для сравнительнаго счета колебаній въ случаѣ сирены и въ случаѣ діапазона. Открытое состояніе отверстій соотвѣтствуетъ движенію діапазона впередъ, когда онъ посылаетъ сжатіе, закрытое — движенію назадъ, когда онъ посылаетъ разрѣженіе. Прохожденіе двадцати дырочекъ сирены (т.-е. во время одного оборота оси, если въ кругъ какъ на фиг. 175 двадцать отверстій) соотвѣтствуетъ двадцати *полнымъ* колебаніямъ діапазона.

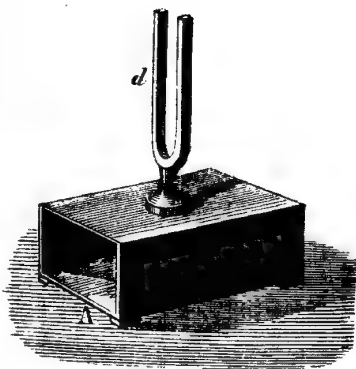
Винтъ нарезанный на оси *d* и сѣпленный съ зубчатымъ колесомъ *r* позволяетъ опредѣлить число оборотовъ оси и круга въ продолженіе данного времени, а слѣдовательно и число импульсовъ получаемыхъ окружающимъ снарядъ воздухомъ. Каждый оборотъ оси передвигаетъ кругъ на одинъ зубецъ; при этомъ на одно дѣленіе передвигается стрѣлка, укрѣпленная на оси колеса и ходящая по циферблату расположеннаго на передней сторонѣ снаружи. Второе колесо поворачивается на одинъ зубецъ при полномъ обращеніи перваго и отмѣчаетъ сотни оборотовъ, если первое колесо имѣетъ сто зубцовъ.



Фиг. 176.

§ 113. Усиливающіе звукъ ящики: резонаторы. Если поднести къ звучащему тѣлу ящикъ или вообще сосудъ опредѣленныхъ размѣровъ, то звукъ замѣтно усиливается. Такъ если держать діапазонъ надъ отверстіемъ длиннаго цилиндра (фиг. 176), то приливая

воды можно замѣтить постепенное усиленіе звука, которое при определенной длинѣ наполняющей полости цилиндра воздушной колонны достигает наибольшей величины. Если прилить еще воды и чрезъ то уменьшимъ длину воздушной колонны, то звукъ вновь ослабнетъ. Деревянный ящикъ, закрытый съ одного бока и длиною одинаковой съ воздушной колонной цилиндра въ описанномъ опытѣ, усиливаетъ звукъ еще болѣе чѣмъ цилиндръ съ водою, особенно если діапазонъ (фиг. 177) укрѣпляется на самомъ ящикѣ. Усиливающий данный звукъ ящикъ можетъ быть и открытый съ обѣихъ сторонъ; въ такомъ случаѣ его длина должна быть вдвое болѣе длины закрытаго дающего тотъ же результатъ. Усиливающее дѣйствіе зависитъ отъ колонны воздуха наполняющаго цилиндръ или ящикъ, и если закрыть отверстие, то дѣйствіе это прекращается. Стѣнки деревяннаго ящика, на которомъ ставится діапазонъ участвуютъ въ явленіи тѣмъ, что принимаютъ толчки діапазона и передаютъ ихъ внутреннему воздуху, приходящему въ созвучное колебаніе. Дѣйствіе ящика сильнѣе если онъ отдѣленъ отъ стола, на которомъ стоитъ, каучуковыми валиками, чѣмъ если прикасается къ столу непосредственно деревянною стѣнкой.

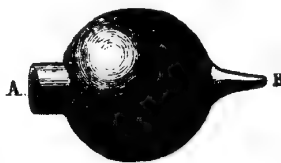


Фиг. 177.

Усиливающий звукъ снарядъ можетъ быть приложенъ къ самому уху. Тогда онъ носитъ названіе резонатора. Резонаторы изобрѣтены Гельмгольцемъ *)

*) Знаменитый гейдельбергскій профессоръ физиологій.

и суть мѣдные или стеклянные шары опредѣленныхъ размѣровъ, имѣющіе по два отверстія, изъ которыхъ одно *B* (фиг. 178) вставляется въ ухо, а другое принимаетъ звуковыя волны. Каждый резонаторъ усиливаетъ свой опредѣленный звукъ и можетъ явственно выдѣлять его изъ массы одновременно съ нимъ раздающихся другихъ звуковъ. Раковина и вообще всякая полость будучи приложена къ уху играетъ отчасти роль резонатора, усиливая ощущеніе нѣкоторыхъ звуковъ соответствующихъ ей размѣрамъ и выдѣляя ихъ изъ общаго дневнаго шума, не останавливающаго нашего вниманія и потому не замѣчаемаго.



Фиг. 178.

§ 114. Звукъ производимый воздушною струею разбивающеюся объ остріе; органичныя трубки; свистокъ локомотива. Струя воздуха разбивающаяся объ остріе производитъ въ окружающемъ воздухѣ весьма сложное сотрясеніе, способное при благоприятныхъ условіяхъ породить сильный звукъ. Въ органной трубкѣ воздухъ изъ органаго мѣха входитъ (фиг. 179) чрезъ ножку *c* въ нижнюю камеру трубки изъ которой и дуетъ чрезъ узкое отверстие *b*. Выходящая струя встрѣчаетъ сръзанныю на искосокъ стѣнку *a*, называемую верхнею губой трубки, и разбиваясь о нее приводитъ окружающій воздухъ въ сотрясеніе. Еслибы не было трубки, то звукъ былъ бы весьма слабъ; трубка дѣйствуетъ какъ усиливающий ящикъ, и, при надлежащей силѣ истеченія воздуха, между



Фиг. 179.

выходящую струей и воздухом трубки устанавливается такое взаимодействие, что звук рождающийся при разрывании струи острием будет именно тот который трубка способна усилить. На том же начале основано происхождение свиста, когда дуют ртом на стѣнки отверстия ключа котораго внутренний каналъ дѣйствуетъ, какъ усиливающая звукъ полость.

Въ свистѣ локомотива (фиг. 180) паръ стремительно выходитъ черезъ круглую узкую щель *a* и разбивается объ обрѣзанные наискось стѣнки колокола *c*.

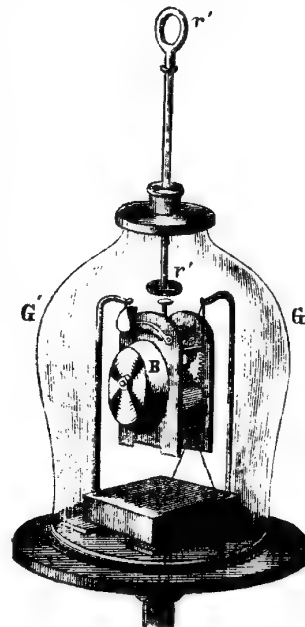


Фиг. 180.

§ 115. Распространение звука въ разрѣженномъ воздухѣ. Черезъ пустоту звукъ не проходитъ. Въ разрѣженномъ воздухѣ распространение дрожаній происходитъ слабѣе чѣмъ въ нормальной атмосферѣ. Соскюръ замѣтилъ что пистолетный выстрѣлъ на вершинѣ Монъ-Блана звучитъ гораздо слабѣе чѣмъ при пошвѣ. Ослабление звука на высотѣ наблюдалъ также Гей-Люссакъ во время воздушнаго путешествія. Первые производители опытовъ съ воздушнымъ насосомъ, Отто фонъ Герике и Бойль, замѣтили что въ безвоздушномъ пространствѣ звукъ ослабѣваетъ почти до уничтоженія и вывели важное заключеніе что *черезъ пустоту звукъ не распространяется*. Опытъ для доказательства этого положенія производится такимъ образомъ:

Подъ колпакомъ воздушнаго насоса помѣщается родъ будильника, въ которомъ молотокъ приводимый въ движеніе заведенною пружиной ударяетъ въ колоколъ *B* (фиг. 181). Вытянувъ воздухъ, отпускаютъ задержку помощію стержня *r*, (плотно проходящаго черезъ крышу такъ что воздухъ проникнуть не можетъ);

молотокъ начинаетъ ударять. Но звукъ на небольшомъ уже разстояніи отъ колокола не слышенъ. Для того чтобы дрожанія не могли передаться черезъ твердыя части, будильникъ вѣшается на нитяхъ, какъ видно на фиг. 181, и стержень не долженъ оставаться въ прикосновеніи съ снарядомъ. Опытъ удастся совершенно, если, выкачавъ развоздухъ, потомъ впустить подъ колоколъ водорода и, заставивъ вторично дѣйствовать насосъ, вытянуть и этотъ газъ. Когда колпакъ даже наполненъ водородомъ звукъ слышенъ очень слабо, почти какъ въ сильно разрѣженномъ воздухѣ. Въ разрѣженномъ водородѣ распространение звука совсемъ прекращается, такъ что ухо можно поднести къ самому колпаку, не слыша ударовъ молотка *).



Фиг. 181.

§ 116. Опредѣленіе скорости звука въ воздухѣ. Для опредѣленія скорости звука въ воздухѣ дѣлаютъ выстрѣлы на извѣстномъ, строго измѣренномъ разстоя-

*) Для того чтобы звукъ могъ распространяться въ газобразной средѣ необходимо чтобы въ ней могли образоваться сжатія или разрѣженія. Двигая, напримѣръ, рукою въ воздухѣ мы заставляемъ частицы разступаться, но не образуемъ сжатыхъ или разрѣженныхъ волнъ. Въ водородѣ, при чрезвычайной подвижности его частицъ, даже быстрого движенія звучащаго тѣла недостаточно, повидимому, чтобы произвести сжатія и разрѣженія особенно если газъ въ разрѣженномъ состояніи.

ни отъ мѣста гдѣ находится наблюдатель. Наблюдатель видитъ свѣтъ въ тотъ самый моментъ когда воспламеняется порохъ, ибо свѣтъ распространяется съ такою громадною скоростію и разстояніе нѣсколькихъ верстъ проходить въ такую малую долю секунды *), что время его распространения отъ пушки до глаза наблюдателя нечего принимать въ расчетъ. За появленіемъ свѣта чрезъ нѣкоторое время, очень замѣтное (болѣе чѣмъ чрезъ три секунды, если разстояніе болѣе версты), слышится звукъ. Опредѣливъ время, прошедшее между появленіемъ свѣта и ощущеніемъ звука, наблюдатель тѣмъ самымъ опредѣляетъ время какое употребляетъ звукъ, чтобы отъ пушки дойти до уха наблюдателя чрезъ раздѣляющее ихъ разстояніе. Раздѣливъ число метровъ, выражающихъ это разстояніе, на число секундъ, заключающихся въ измѣренномъ времени, получимъ скорость звука. Она равняется 331 метрамъ или 1100 футамъ въ секунду при 0°.

Скорость звука не зависитъ отъ давленія, подъ какимъ находится воздухъ, но съ повышеніемъ температуры увеличивается. При 10° (по столбическому термометру) она равняется 337 метрамъ, при 15°—340 метрамъ, при 25°—346 метрамъ.

То обстоятельство что можно слушать оркестръ издали и при этомъ мелодія не разстраивается свидѣтельствуеетъ что согласно теоріи, звуки *разнаго* напряженія и качества распространяются всѣ съ одинаковою скоростію. Это положеніе по отношенію къ напряженію вѣрно впрочемъ лишь до извѣстной степени. По новѣйшимъ изслѣдованіямъ французскаго ученаго Реньйо, въ трубахъ, скорость звуковъ болѣе напряженныхъ нѣсколько значительнѣе чѣмъ менѣе напряженныхъ.

Опыты надъ опредѣленіемъ скорости звука, очень простые по основной мысли, но очень трудные въ точномъ исполненіи, были произведены очень много

*) Разстояніе, напримѣръ, около пяти верстъ въ одну пятидесяти восьми тысячную долю секунды.

разъ различными учеными. Наибольшею извѣстностію пользуются опыты, произведенные въ 1822 году членами Парижской Академіи Наукъ, а также опыты голландскихъ ученыхъ въ 1823 году.

Въ послѣдніе годы Реньйо произвелъ обширныя изысканія надъ скоростію распространения звука при разныхъ условіяхъ. Опыты производились отчасти въ свободномъ воздухѣ, отчасти въ трубахъ водопроводныхъ и газопроводныхъ. Скорость въ водородѣ оказалась въ 3,8 разъ болѣе скорости въ воздухѣ, въ угольной кислотѣ она 0,8 скорости въ воздухѣ. Независимость скорости отъ давленія подтверждена опытами въ трубахъ 70 метръ длины, гдѣ давленіе было увеличено въ 5 разъ противъ атмосфернаго и въ трубѣ 867 метровъ длиною, гдѣ оно было увеличено вдвое: скорость звука оказалась также сама.

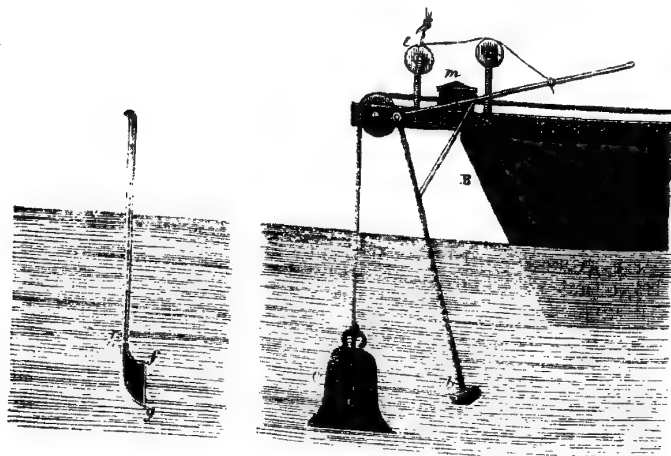
§ 117. Измѣреніе разстояній на основаніи скорости звука. Зная скорость звука, можно опредѣлить разстояніе на какомъ находится тѣло издающее звукъ. Если хотимъ узнать, напримѣръ, разстояніе на какомъ разражается гроза, то надо счесть секунды между появленіемъ молніи и ощущеніемъ грома. Если бы протекло 10'', значитъ молнія была на разстояніи около 3400 метровъ. Не имѣя часовъ съ секундами можно пользоваться ударами пульса, такъ какъ у здороваго человека промежутокъ между двумя ударами пульса немного меньше секунды, именно около 7 пульсаций въ 6 секундъ.

Желая узнать глубину колодца пускаемъ камень и измѣряемъ время между моментомъ когда *видимъ* что онъ достигъ воды и моментомъ когда слышимъ звукъ.

Находясь на нѣкоторомъ разстояніи отъ человѣка ударяющаго молоткомъ, замѣчаемъ что стукъ молотка не совпадаетъ съ моментомъ удара: мы видимъ какъ молотъ опускается, ударяетъ въ наковальню, но звукъ слышимъ лишь чрезъ нѣкоторое время. Во время фейерверка бомба лопается въ высотѣ разсыпаясь звѣздочками; звукъ взрыва слышимъ лишь спустя замѣтное время. Когда идетъ длинный отрядъ, соразмѣряя шагъ по барабану, то можно замѣтить что движеніе отдаленныхъ колоннъ не совпадаетъ съ движеніемъ болѣе близкихъ къ барабану.

§ 118. Скорость звука въ водѣ. Скорость звука въ водѣ была тщательно измѣрена женевскимъ профессоромъ Колладономъ въ 1827 году помощію опытовъ на Женевскомъ озерѣ, произведенныхъ на протяженіи болѣе 13 километровъ. Колладонъ принятое имъ расположеніе опытовъ объясняетъ слѣдующимъ образомъ: „Когда ударяется тѣло помѣщенное въ водѣ на небольшой глубинѣ, то наблюдатель, находящійся внѣ воды на небольшомъ разстояніи явственно слышитъ ударъ, но если онъ удалится, оставаясь при поверхности отойдетъ, напримѣръ, на

лодки), то замѣтитъ быстрое уменьшеніе силы звука, такъ что на разстояніи 200 или 300 метровъ ничего не будетъ слышать, хотя бы ударъ былъ силенъ, и онъ держалъ ухо при поверхности. Но стоить ему погрузить голову въ воду, и онъ, на такомъ и на гораздо большемъ разстояніи, явственно услышитъ звукъ. Повидимому, лучи звука встрѣчая поверхность воды подъ острымъ угломъ не выходятъ въ воздухъ, а отражаются внутрь воды, точно такъ какъ дѣлаютъ лучи свѣта въ подобныхъ условіяхъ.. Чтобы имѣть возможность наблюдать звукъ на значительномъ разстояніи не погружаясь въ воду, я напалъ на мысль перестѣчь волны звука вертикальною поверхностью, которая бы принимала ихъ и передавала находящемуся за нею воздуху, а чрезъ него наружу. Колладонъ опустил въ воду трубку изъ тонкаго листового желѣза, длиною въ три метра (фиг. 179); погруженное отверстие было задрѣзано листомъ и представляло собою перегородку, въ которую



Фиг. 179.

ударали звуковыя волны. Колебанія сообщались внутреннему воздуху и уху, которое прикладывалось къ отверстию *o*. Наблюдатель находившійся на лодкѣ *b* ударялъ подъ водою въ колоколь. Въ моментъ удара стержень молотка, помощью ломаго рычага, приводилъ горящій фитиль въ прикосновеніе съ кучкою пороха *m*. Другой наблюдатель помѣщенный на разстояніи нѣсколькихъ верстъ съ описанною трубою, опредѣ-

лялъ время между появленіемъ свѣта и ощущеніемъ звука. Оказалось что звукъ распространяется въ водѣ со скоростью 1435 метровъ въ секунду, слѣд. вчетверо скорѣе чѣмъ въ воздухѣ.

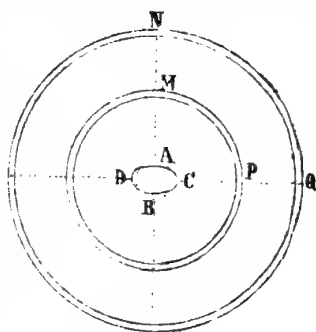
Ударъ колокола въ водѣ не похожъ на звукъ его въ воздухѣ. „Вмѣсто протяжнаго звука слышенъ рѣзкій краткій стукъ какъ бы отъ удара двухъ лезвьевъ ножей одного о другое“.

§ 119. Скорость звука въ чугуѣ. Біо производилъ опыты надъ трубою парижскаго водопровода, состоявшею изъ нѣсколькихъ сотъ отдѣльныхъ трубокъ плотно соединенныхъ и образовавшихъ каналъ, который можно было разсматривать какъ одну чугунную трубу. При концѣ ея въ отверстіе вставлялось кольцо, въ центрѣ котораго былъ укрѣпленъ колоколь съ молоткомъ. Молотокъ, ударяя въ колоколь, чрезъ то самое давалъ ударъ трубѣ, съ которою колоколь чрезъ кольцо находился въ сообщеніи. На другомъ концѣ можно было, приложивъ или просто приблизивъ ухо къ трубкѣ, слышать два звука: одинъ пришедшій чрезъ металлъ, другой чрезъ воздухъ. Первый приходилъ металлическій звукъ, за нимъ воздушный. Последний при длинѣ трубы въ 951 метръ приходилъ на 2.54 секундъ послѣ перваго, а такъ какъ въ воздухѣ звукъ при условіяхъ опыта проходитъ 951 метръ въ 2.8 секундъ, то слѣдовательно 0.26 секунды представляетъ время употребленное звукомъ чтобы пройти 951 метръ въ толщѣ чугуна. И такъ скорость въ чугуѣ почти въ 11 разъ болѣе скорости въ воздухѣ и составляетъ болѣе 3600 метровъ въ секунду.

Опытами, произведенными въ воздухѣ и небольшомъ числѣ газовъ, въ водѣ и въ чугуѣ, ограничиваются *прямыя* опредѣленія скорости звука въ тѣлахъ. Но помощью изученія звуковыхъ колебаній можно *непрямымъ* путемъ опредѣлить скорость звука въ значительномъ числѣ и остальныхъ тѣлахъ. Замѣтимъ что полученное этимъ путемъ число для желѣза и чугуна значительно болѣе опредѣленнаго опытами Біо именно 15 вмѣсто 10! сравнительно со скоростью въ воздухѣ.

§ 120. Ослабленіе звука по мѣрѣ удаленія отъ звучащаго тѣла; распространеніе въ трубахъ безъ замѣтной потери. Движеніе сообщенное звучащимъ тѣломъ окружающему, воздуху распространяется отъ него, какъ центра, во всѣ стороны, передаваясь послѣдовательно большому и большому числу воздушныхъ частицъ и потому ослабляясь въ силѣ. Волны, проходя слои *MP* (фиг 180), представляютъ болѣе значитель-

ныя сжатія и разрѣженія чѣмъ когда достигаютъ концентрическаго слоя NQ , и оказываютъ потому болѣе сильное дѣйствіе на тѣло находящееся на разстояніи AM отъ источника звука чѣмъ на тѣло удаленное на болѣе значительное разстояніе AN . Другими словами, звукъ ослабѣваетъ по мѣрѣ удаленія отъ звучащаго тѣла. Такъ бываетъ при распространеніи



Фиг. 180.

звукъ въ неограниченной массѣ воздуха. Но если, какъ въ случаѣ разобраннымъ въ § 110, дрожанія отъ звучащаго тѣла сообщаются воздуху заключенному въ трубѣ, то такого ослабленія не бываетъ, ибо сжатіе, а также и разрѣженіе, отъ перваго слоя передается второму, затѣмъ третьему и т. д. равной съ нимъ длины и ширины, и слѣдов. движеніе передаваемое послѣдовательно равнымъ массамъ воздуха не должно ослабѣвать въ силѣ. Нѣкоторая потеря движенія бываетъ, впрочемъ, и въ этомъ случаѣ, такъ какъ воздушные слои передаютъ часть своего движенія стѣнкамъ трубки. Такая потеря тѣмъ значительнѣе чѣмъ менѣе діаметръ трубки; въ трубкахъ довольно значительнаго діаметра она мало замѣтна даже на весьма большомъ протяженіи. Французскій ученый Бю, дѣлая въ 1809 году опыты надъ распространеніемъ звука въ длинныхъ трубкахъ чинившихся тогда парижскихъ водопроводовъ, нашелъ что даже слабые звуки безъ замѣтной потери распространялись въ воздушной колоннѣ 950 метровъ длиною, такъ что было одно средство не дать себя услышать на другомъ концѣ: „не говорить вовсе“. Пистолетный

выстрѣлъ произведенный въ отверстіе трубы на одномъ ея концѣ, съ такою силою приводилъ въ движеніе воздухъ на другомъ концѣ, что приближенная рука чувствовала сильное дуновеніе, легкія тѣла уносились на полметра, свѣча задувалась. Свойствомъ трубы проводить звукъ безъ значительной потери пользуются для устройства слуховыхъ трубъ, позволяющихъ переговариваться на значительныя разстоянія, для установленія, на примѣръ, сообщенія между разными частями зданія. Не только по трубамъ, но и вдоль открытаго канала, на примѣръ вдоль жолоба образованнаго двумя пересѣкающимися досками, звукъ распространяется съ значительно меньшею утратою силы чѣмъ въ неограниченной массѣ воздуха. Въ нѣкоторыхъ зданіяхъ отъ пересѣченія двухъ сводовъ образуются такого рода каналы изъ одного угла комнаты въ другой. Наблюдатель, ставъ въ уголъ комнаты, обратившись лицомъ къ стѣнѣ, тихо произносить нѣсколько словъ; они явственно слышны второму наблюдателю стоящему въ другомъ углу, но не слышны въ другихъ мѣстахъ комнаты.

Есть средство и въ неограниченной массѣ воздуха передать слова на довольно значительное разстояніе. Это средство — такъ-называемая *говорная труба* или *рупоръ*. Обыкновенно это есть коническая трубка съ расширеніемъ на концѣ (фиг. 181) и отверстіемъ при-



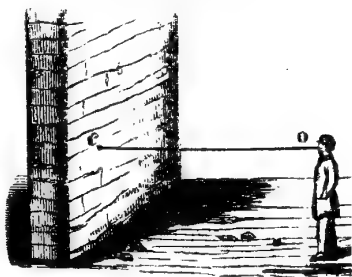
Фиг. 181.

лагающимся ко рту такъ что оно не мѣшаетъ движенію губъ. Рупоръ употребляется на морѣ чтобъ переговариваться на значительномъ разстояніи и передавать

команду, несмотря на шумъ вѣтра и волнъ. Рупоръ изобрѣтенъ въ Англіи въ 1670 году кавалеромъ Морландомъ, произведшимъ рядъ опытовъ, въ присутствіи короля и двора. Трубка которой конусъ былъ болѣе полутора метра длиною позволяла передать слова на разстояніе пяти километровъ.

§ 121. Отраженіе звука. Эхо. Звуковая волна ударяясь въ какое-либо препятствіе, напримѣръ въ стѣну, отбрасывается отъ него

или *отражается* подобно тому какъ отбрасывается шарикъ слоновой кости или каучуковый мячъ ударяющій въ стѣну, или какъ отражается лучъ свѣта падающій на зеркало. Отраженіемъ звука объясняется происхожденіе *эхо*

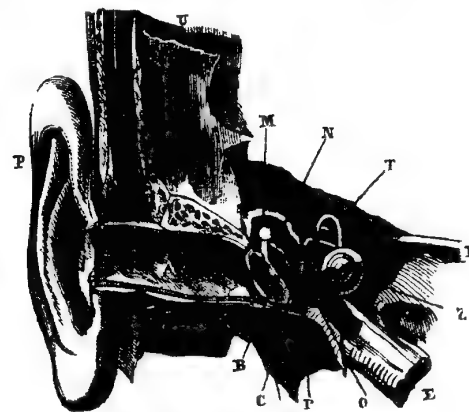


Фиг. 182.

или повторенія звука. Представимъ себѣ наблюдателя стоящаго предъ стѣною (фиг. 182) находящеюся отъ него метрахъ въ двадцати, и пусть онъ произнесетъ какое-либо односложное слово. Такое слово требуетъ для произнесенія приблизительно отъ $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{4}$ секунды; звукъ же двадцать метровъ (принимая скорость 340 метровъ въ секунду) проходитъ въ $\frac{1}{17}$ долю секунды, слѣдовательно возвратится къ наблюдателю чрезъ $\frac{2}{17}$ доли секунды (нѣсколько болѣе $\frac{1}{8}$) и будетъ слышанъ тотчасъ послѣ того какъ слогъ произнесенъ: послѣдуетъ повтореніе произнесеннаго слога или эхо. Если стѣна находится далѣе, то пройдетъ болѣе значительный промежутокъ между произнесеніемъ слога и его повтореніемъ, такъ что можно произнести нѣсколько слоговъ, даже словъ, прежде чѣмъ начнется повтореніе перваго произнесеннаго и за нимъ остальныхъ. Таково теоретическое основаніе для объясненія эхо. На практикѣ многія обстоятельства, напримѣръ,

окружающіе отражающую стѣну предметы, осложняютъ явленіе. Въ горахъ, гдѣ представляется много отражающихъ препятствій, звуки иногда повторяются до нѣсколькихъ разъ. Стѣны комнаты, въ свою очередь, отражаютъ звуки, но такъ какъ размѣры комнаты обыкновенно незначительны сравнительно со скоростью звука, то отраженный звукъ почти сливается съ произносимымъ, что нерѣдко вредитъ внятности произносимаго. Недостатокъ этотъ ослабляется когда стѣны обтянуты чѣмъ-либо мягкимъ, способнымъ поглощать звукъ, мало его отражая, или когда зала наполнена слушателями.

§ 122. Органъ слуха. Слуховой нервъ не касается непосредственно звучащихъ тѣлъ; погруженный въ жидкость, онъ не находится въ прикосновеніи и съ воздухомъ, несущимъ толчки отъ звучащаго тѣла. Толчки эти передаются нерву черезъ весьма сложный аппаратъ составляющій нашъ органъ слуха, ухо. Органъ слуха (фиг. 183) состоитъ изъ слѣдующихъ частей:



Фиг. 183.

наружнаго уха *P*, слуховаго канала *A*, барабанной перепонки *B*, за которою слѣдуетъ барабанная полость,—

и *внутреннего уха*. Барабанная полость наполнена воздухомъ и соединяется съ полостью рта каналомъ, называемымъ евстахьевою трубой *E*, чрезъ которую устанавливается равновѣсіе давленія воздуха внутри полости со внѣшнимъ его давленіемъ. Стѣнка барабанной полости противоположная барабанной перепонкѣ имѣетъ два отверстія затянута перепонками; одно называется *круглымъ окномъ O*, другое *овальнымъ S*. Между барабанною перепонкою и овальнымъ окномъ перемѣщенъ рядъ косточекъ, носящихъ имена: *молоточекъ, наковальня, чечевичеобразная косточка и стремя*. Косточки эти составляютъ систему, которой одинъ конецъ (именно молоточекъ) упирается въ барабанную перепонку, а другой—стремя закрываетъ своимъ основаніемъ овальное окно. Связки соединяютъ систему косточекъ съ окружающими частями; нѣсколько маленькихъ мускуловъ позволяютъ ей съ большею или меньшею силой упираться въ барабанную перепонку и измѣнять ея натяженіе. Внутреннее ухо или *лабиринтъ* наполнено студенистою жидкостью и имѣетъ очень сложное строеніе, представляя множество извилинъ и каналовъ, выстланныхъ волокнистыми тканями. Въ немъ различаютъ *полукруглые каналы T и улитку S*.

Звуковые волны, идущія въ воздухъ отъ звучащаго тѣла, входятъ въ слуховой каналъ и даютъ толчки барабанной перепонкѣ; толчки эти чрезъ систему косточекъ передаются жидкости внутреннего уха, а чрезъ нее тонкимъ волокнамъ тканей, устилающихъ его полости и мельчайшимъ нервнымъ нитямъ соединеннымъ съ этими волокнами и составляющимъ развѣтвленіе слуховаго нерва.

Хотя въ большинствѣ случаевъ дрожанія звучащаго тѣла достигаютъ органа слуха чрезъ воздухъ, однако можно установить сообщеніе слуховаго нерва съ звучащимъ тѣломъ и помимо воздуха, помощію, напримѣръ, твердыхъ тѣлъ.

Простая нить достаточна чтобы провести звукъ. Если два на-

блюдателя, заткнуть уши, натянуть нить, держа концы ея между зубами, то трогая эту нить пальцами какъ гитарную струну, они могутъ передать явственный звукъ одинъ другому. Дрожанія передадутся чрезъ нить и кости черепа. Если повѣсить серебряную ложку на нити, держа конецъ ея между зубами, то, зажавъ уши, можно слышать звукъ удараемой ложки точно звукъ колокола. Подобнымъ образомъ слышенъ сильный и густой звукъ, когда, повѣсивъ діапазонъ на нити, протянемъ отъ ножки его другую нить, конецъ которой прикрѣпимъ къ ручкѣ съ двумя деревянными втулками и вставимъ эти втулки плотно въ уши, натягивая нить. Въмѣсто діапазона можно взять стальные каминные щипцы и вообще стальную полосу. Приложивъ ухо къ длинному шесту, можно слышать явственно ударъ булавы о другой конецъ, хотя черезъ воздухъ звукъ этого удара не слышенъ на томъ же разстояніи. Шестъ явственно передаетъ звукъ, если одинъ конецъ его упирается въ звучащее тѣло, другой касается зубовъ, или иной какой твердой части головы. Дѣйствіе почти одинаково, прилагаемъ ли шестъ къ зубамъ, или къ горлу, или даже къ плечу, крѣпко прижатой къ груди. Въмѣсто одного шеста можно взять нѣсколько перекладныхъ, соединивъ ихъ послѣдовательно подъ разными углами. Слова передаются если, прижавъ шестъ къ металлическому, стеклянному или фарфоровому сосуду, говорящій направитъ голову внутрь сосуда; напряженіе сильнѣе когда говорящій касается сосуда зубами.

§ 123. Шумъ и музыкальный звукъ. Ухо различаетъ *шумъ и музыкальные звуки или тоны*. Шумъ есть смѣшеніе и неправильная послѣдовательность звуковыхъ впечатлѣній; музыкальный звукъ, напротивъ, длится правильно и однообразно. Шелестъ и вой вѣтра, плескъ воды, стукъ экипажа по мостовой суть примѣры шума; струны, органныя трубки, діапазонъ и иные инструменты издають музыкальные звуки. Какъ увидимъ, впечатлѣніе музыкальнаго звука возбуждается быстрымъ *периодическимъ* сотрясеніемъ сообщаемымъ органу слуха; шумъ производится движеніемъ *непериодическимъ*. Такъ какъ смѣшеніе музыкальныхъ звуковъ можетъ дать въ результатъ шумъ, какъ бываетъ, напримѣръ, если ударить заразъ по клавишамъ фортепіано на протяженіи одной или двухъ октавъ, то можно заключить что музыкальный звукъ есть элементарная форма звука, шумъ—форма смѣшанная и сложная.

§ 124. Свойства музыкальнаго звука различаемы ухомъ. Въ данномъ музыкальномъ звукѣ ухо различаетъ: 1) *напряженіе*: звукъ можетъ быть сильнѣе или слабѣе; 2) *высоту*, 3) *звучаніе* или *музыкальный оттенокъ* звука (timbre, Klangfarbe).



Фиг. 184.

Понятіе о *напряженіи* и *высотѣ* удобно можно получить, изучая звукъ струны укрѣпленной (фиг. 184) на ящикѣ, длину и натяженіе которой можно измѣнять (такой инструментъ именуется *сонометромъ* или, въ случаѣ одной струны, *монохордомъ*). Приведа струну въ дрожаніе, мы услышимъ музыкальный звукъ, или тонъ, который, по мѣрѣ того какъ струна приходитъ въ покой, оставаясь качественно тѣмъ же самымъ, слышится слабѣе: *напряженіе* его уменьшается. Помощію подставки укоротимъ часть струны приводимую въ дрожаніе. Услышимъ новый тонъ отличный отъ перваго. Онъ можетъ быть также слабѣе и сильнѣе, но кромѣ того онъ качественно отличенъ отъ перваго: онъ, какъ говорится, *выше* его. Чѣмъ болѣе будемъ мы укорачивать струну тѣмъ выше будетъ издаваемый ею звукъ. Можно повысить тонъ струны и не укорачивая ея: для этого достаточно увеличить грузъ который привѣшенъ на ея концѣ, или вообще натянуть ее сильнѣе.

Понятіе о *звучаніи* или *оттѣнкѣ* звука получаемъ про-

изводи на различныхъ музыкальныхъ инструментахъ тоны одинаковой высоты, которые будутъ, какъ говорится, *въ унисонъ* между собою. Такъ, струнъ можно дать такую длину и такое натяженіе, что она издастъ звукъ такой же высоты какъ данный діапазонъ или органная трубка. Такой же высоты тонъ можно произвести сиреной. Но эти тоны равной высоты тѣмъ не менѣе качественно будутъ различаться между собою большею или меньшею полнотою и звонкостію звука. Одинъ и тотъ же по высотѣ тонъ можетъ слѣдовательно имѣть разное *звучаніе*, разный музыкальный *оттѣнокъ*.

§ 125. Аккорды; консонансъ и диссонансъ. Гамма. Когда два тона звучать въ одно время, то они образуютъ *аккорды*. Соединеніе двухъ тоновъ пріятное для уха называется *консонансомъ*, непріятное для уха соединеніе двухъ тоновъ называется *диссонансомъ*.

Со древнихъ временъ, съ эпохи Пифагора, извѣстенъ законъ что двѣ части струны, длины которыхъ находятся между собою въ простыхъ ариметическихъ отношеніяхъ, издають тоны соединеніе которыхъ пріятно для уха. Такъ, если, отдѣливъ отъ струны (помощію подставки, прижимающей струну такъ чтобы движеніе отъ отдѣленной части не могло сообщаться остальной струнѣ) третью долю, приведемъ эту долю и остальныя двѣ трети въ дрожаніе, то услышимъ два звука соединеніе которыхъ пріятно для уха: они образуютъ консонансъ. Въ этомъ случаѣ одна часть струны вдвое болѣе другой: тонъ издаваемый длиною равною половинѣ носитъ названіе *октавы* по отношенію къ болѣе *низкому* звуку издаваемому длиною равною единицѣ. Если поставимъ подставку на $\frac{2}{3}$ длины струны, такъ что отдѣленная часть будутъ относиться какъ $\frac{2}{3}$: $\frac{1}{3}$ = 3: 2, то получимъ звуки опять дающіе *консонансъ*; высшій называется *квинтою* низшаго. Если натянемъ одинаковымъ образомъ четыре струны длины которыхъ бу-

дуть 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{2}$, то будемъ имѣть: основной тонъ, квинту, кварту и октаву, главные консонансы *гаммы*, или по буквенному обозначенію

ut, fa, sol, ut

Полную употребляемую въ музыкѣ гамму можно составить изъ восьми струнъ длины которыхъ и буквенное обозначеніе тоновъ суть:

C D E F G A H C
ut ré mi fa sol la si ut
1 $\frac{8}{9}$ $\frac{7}{5}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{3}{5}$ $\frac{8}{15}$ $\frac{1}{2}$

§ 126. Физическія условія отъ которыхъ зависитъ напряженіе звука. Помощію діапазоновъ всего удобное указать въ чемъ состоятъ *физическія* условія, объясняющія указанное выше (физиологическое) различіе въ данномъ звукѣ его *напряженія* и *высоты*. Производя остріемъ, приклееннымъ къ звучащему діапазону, зигзаги на пластинкѣ покрытой копотью, можемъ убѣдиться что зигзаги эти имѣютъ большую ширину когда діапазонъ звучитъ сильнѣе чѣмъ когда его дрожаніе и звукъ ослабѣваютъ. Между тѣмъ *число* зигзаговъ на данномъ протяженіи если движеніе пластинки произведено съ одинаковою скоростью, остается одинаковымъ при сильномъ и слабомъ звукѣ. А такъ какъ ширина зигзаговъ свидѣтельствуетъ о величинѣ размаховъ качающейся вѣтви, то заключаемъ что эта величина размаховъ качающихся частей звучащаго тѣла опредѣляетъ собою *напряженіе* звука, но не имѣетъ вліянія на продолжительность каждаго качанія (то же явленіе какъ въ случаѣ маятника) и слѣдовательно на число качаній въ данное время. Данному тону, звучитъ ли онъ сильно или слабо, соответствуетъ одинаковое число качаній въ данное время.

§ 127. Физическія условія отъ которыхъ зависитъ высота звука. Помѣстимъ на одной подставкѣ два, три или болѣе діапазоновъ снабженныхъ остріями разной длины, приложенными такъ чтобъ ихъ кончики

приходились близко одни отъ другихъ и сразу могли чертить зигзаги на движущейся пластинкѣ. Приведемъ діапазоны въ дрожаніе и двинувъ пластинку, получимъ на ней два, три и болѣе рядовъ зигзаговъ, смотря по числу діапазоновъ. Сравнивая число зигзаговъ начерченныхъ разными діапазонами на протяженіи пластинки, очевидно, получимъ сравнительное число качаній дѣлаемыхъ этими діапазонами въ равное время. Найдемъ что діапазонъ издающій болѣе *высокій* звукъ чертитъ больше зигзаговъ, и слѣдовательно дѣлаетъ большее число колебаній въ данное время, чѣмъ издающій болѣе низкій звукъ. Заключаемъ что *высота* звука обуславливается *числомъ колебаній*, какое совершаетъ звучащее тѣло въ данное время, напримѣръ, въ секунду.

Если употребленные въ опытѣ діапазоны издаютъ звуки находящіеся въ простыхъ музыкальныхъ отношеніяхъ, составляютъ, напримѣръ музыкальный рядъ изъ четырехъ нотъ: *ut, mi, sol, ut*, то, какъ показываетъ счетъ зигзаговъ, числа ихъ колебаній, соответствующія данному времени, находятся между собою въ весьма простыхъ отношеніяхъ. Когда первый изъ нихъ дѣлаетъ 4 колебанія, второй въ то же время дѣлаетъ ихъ пять, третій шесть, четвертый, представляющій октаву перваго, — восемь, то-есть вдвое болѣе. Вообще отношенія чиселъ колебаній, соответствующихъ нотамъ музыкальной гаммы, выражаются слѣдующею таблицей:

<i>ut</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>ut</i>
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

или, приведя къ одному знаменателю,

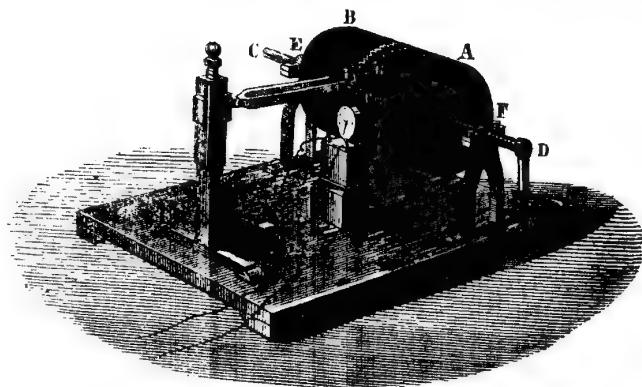
24	27	30	32	36	40	45	48
----	----	----	----	----	----	----	----

Такимъ образомъ если имѣемъ два звука, первый произвольный, второй составляющій въ музыкальномъ

отношеніи, по сужденію наблюдателя привыкшаго къ музыкальной оцѣнкѣ звуковъ, напримѣръ, октаву или квинту (*sol*) отъ перваго, то можемъ сказать что въ случаѣ октавы число колебаній втораго звука вдвое болѣе противъ перваго, а въ случаѣ *sol* три колебанія тѣла издающаго второй звукъ совершаются въ то время когда тѣло издающее первый звукъ совершаетъ ихъ два и т. д.

Прибавимъ что звуки, числа колебаній которыхъ вдвое, втрое, вчетверо болѣе чѣмъ число колебаній даннаго звука, называются по отношенію къ нему *гармоническими*. Онѣ же по отношенію къ нимъ именуется *основными*.

§ 128. **Опредѣленіе абсолютнаго числа колебаній, соотвѣтствующаго разнымъ звукамъ.** Описанный въ предыдущемъ параграфѣ способъ служить къ *сравнительному* опредѣленію числа колебаній звуковъ составляющихъ музыкальные аккорды. Чтобы опредѣлить *абсолютное* число колебаній даннаго діапазона пользуются снарядомъ называемымъ *вибраскопъ*. Мѣдный цилиндръ (фиг. 185) на оси приводится въ дви-



Фиг. 185.

женіе рукояткой и, вращаясь, поступаетъ въ то же время вдоль оси, благодаря наръзанному на ней винту. Цилиндръ облекается заковченою бумагой, и остріе діапазона помѣщается такъ что во время враще-

нія цилиндра пишетъ на бумагѣ зигзаги, причемъ — благодаря поступательному движенію, какое имѣетъ цилиндръ вмѣстѣ съ вращательнымъ, — одинъ полный оборотъ зигзаговъ не смѣшивается съ другимъ, и ихъ можно винтообразно начертить весьма значительное число. Рядомъ съ діапазономъ ставится *счетчикъ*, снабженный небольшимъ остріемъ, дѣлающимъ черточки на бумагѣ. Механизмъ счетчика устроенъ такъ что остріе прикасается къ бумагѣ и дѣлаетъ свои отмѣтки чрезъ опредѣленные равные промежутки времени, напримѣръ чрезъ полъ-секунды. Число зигзаговъ, помѣщающееся на бумагѣ между каждыми двумя черточками отмѣченными остріемъ счетчика, соотвѣтствуетъ числу полныхъ колебаній какое діапазонъ дѣлаетъ въ полъ-секунды. Сочтя зигзаги на протяженіи отмѣченномъ нѣсколькими черточками, будемъ знать абсолютное число колебаній совершаемыхъ діапазономъ въ данное число полу-секундъ.

Сирена, описанная въ § 112, въ свою очередь позволяетъ опредѣлить абсолютное число импульсовъ даваемыхъ воздуху, когда она производитъ опредѣленный звукъ.

Французскій ученый, Саварь *), приводилъ въ движеніе колесо снабженное извѣстнымъ числомъ зубцовъ, и подносилъ къ нему карту такъ что зубцы во время движенія колеса касались карты. Карта опускается пока давитъ на нее зубецъ и подымается когда онъ ее оставляетъ. При каждомъ оборотѣ колеса сколько на немъ зубцевъ столько полныхъ качаній совершаетъ карта. Зная число оборотовъ дѣлаемыхъ колесомъ въ данное время, не трудно опредѣлить число ударовъ полученныхъ картой и слѣдовательно число ея качаній производящее звукъ извѣстной высоты.

§ 129. **Звуки издаваемые разными инструментами, по находящимся въ унисонѣ, соотвѣтствуютъ одному и тому же числу колебаній.** Если произвести звукъ той

*) Членъ парижской Академіи Наукъ, профессоръ въ Collège de France въ тридцатыхъ и сороковыхъ годахъ текущаго столѣтія. Извѣстенъ въ особенности акустическими изслѣдованіями и изученіемъ жидкой струи истекающей изъ сосуда.

же высоты помощью діапазона, сирены и колеса Савара и опредѣлить число звуковыхъ колебаній производимыхъ этими инструментами, то найдемъ что это число будетъ одинаково во всѣхъ трехъ случаяхъ. Это заключеніе распространяется и на всѣ вообще инструменты. Каждые два звука одинаковой высоты или, какъ это говорится, находящіеся въ *унисонъ* соотвѣтствуютъ одинаковому числу колебаній звучащихъ тѣлъ и слѣдовательно одинаковому числу импульсовъ получаемыхъ нашимъ ухомъ.

§ 130. Физическія условія звучанія или отбѣика звука. Импульсы, будучи одинаковы въ числѣ, могутъ, очевидно, весьма различествовать между собою, если сравнивать ихъ отдѣльно. Каждый импульсъ производимый сиреною (какъ мы уже упоминали въ § 112) не одинаковъ съ импульсомъ производимымъ діапазономъ, и тогда какъ дѣйствіе діапазона на перепонку уха представляетъ періодическую смѣну постепенныхъ усиленій давленія чередующихся съ постепенными же его ослабленіями, импульсы сирены представляютъ рядъ прерывистыхъ толчковъ. Въ этомъ причина почему звуки одинаковой высоты и слѣдовательно одинаковаго числа колебаній, но издаваемые разными инструментами, *качественно* различествуютъ *звучаніемъ*. О фізіологическихъ условіяхъ этого явленія скажемъ ниже.

§ 131. Число колебаній соотвѣтствующее различнымъ звукамъ употребляемымъ въ музыкѣ. Предѣлы ощущенія звука. Наиболѣе низкій звукъ въ оркестрѣ (*ти* контрабаса) соотвѣтствуетъ приблизительно 40 полнымъ колебаніямъ въ секунду; наиболѣе низкій въ фортепіано 32 полнымъ колебаніямъ. Наиболѣе высокіе звуки оркестра соотвѣтствуютъ 4000 полнымъ колебаніямъ въ секунду. Для настраиванія инструментовъ принято считать за *и* такой звукъ, который дѣлаетъ 522 простыхъ колебаній въ секунду, слѣдовательно за *ла* принимать звукъ дѣлающій 870 простыхъ колебаній въ секунду (нормальный діапазонъ). Диапазоны употребляемые въ физиче-

скихъ кабинетахъ настроены нѣсколько ниже и дѣлаютъ обыкновенно: отмѣченные нотою *и*₂—512 простыхъ колебаній въ секунду (къ этому числу приходятъ чрезъ послѣдовательное удвоеніе 1, 2, 4, 8, 16.....512, то есть образуя послѣдовательныя октавы единицы). Въ такомъ случаѣ *ла*, будетъ соотвѣтствовать 853¹/₂ колебаніямъ.

Согласно Гельмгольтцу наиболѣе низкій осязаемый нами музыкальный звукъ соотвѣтствуетъ 16 простымъ колебаніямъ въ секунду, наиболѣе высокій около 40000 простыхъ колебаній. Дрожанія вѣ этихъ предѣлахъ числа колебаній нами не ощущаются какъ звукъ.

§ 132. Длина звуковыхъ волнъ. Длиною звуковой волны называется то протяженіе на какое распространяется въ воздухъ или иной средѣ дѣйствіе звучащаго тѣла въ продолженіе одного полного колебанія его. Полная волна возбуждаемая дрожащимъ тѣломъ состоитъ изъ двухъ частей: одной соотвѣтствующей движенію впередъ — *сжатая* волна, другая движенію назадъ — *разрѣженная* волна (§ 110). Сколько тѣло совершаетъ колебаній въ данное время столько посылаетъ оно и волнъ въ это время. А такъ какъ звукъ распространяется равномернымъ движеніемъ со скоростью около 340 метровъ въ секунду, при обыкновенной комнатной температурѣ, то въ данный моментъ на этомъ протяженіи должно находиться столько волнъ равной длины, сколько колебаній звучащее тѣло дѣлаетъ въ секунду. Потому раздѣляя скорость звука на число колебаній, найдемъ длину волны соотвѣтствующую этому звуку. Такъ звуку діапазона дѣлающаго 870 простыхъ или 435 полныхъ колебаній въ секунду соотвѣтствуетъ длина волны $340 : 435 = 0,781$ метра; причемъ длина сжатой ея части есть половина этого числа, то-есть 0,39 метра и такая же разрѣженной. Звуку 512 простыхъ колебаній соотвѣтствуетъ длина волны 1,33 метра, и т. д. Длина звуковыхъ волнъ выходящихъ изъ рта мушны, въ случаѣ довольно низкихъ нотъ (напримѣръ 100 полныхъ колебаній въ секунду), превышаетъ 3 метра; вол-

ны женскаго голоса (стахъ при пяти полныхъ колебаній) имѣють длину около 0,7 или 0,6 метровъ.

Эти числа относятся къ температурѣ 15°. Въ болѣе холодномъ воздухѣ длина волнъ меньше, ибо скорость распространения меньше (331 метръ при 0°). Длина звуковыхъ волнъ въ другихъ газахъ зависитъ отъ скорости распространения въ нихъ звука. Такъ скорость въ водородѣ почти въ четыре раза болѣе чѣмъ въ воздухѣ, а потому и длина волнъ соответствующихъ тому же числу колебаній, т. е. тому же звуку, вчетверо значительнѣе. Въ чугунѣ скорость въ 11 почти разъ болѣе чѣмъ въ воздухѣ, во столько же разъ длиннѣе и волны соответствующія тому же звуку.

Ящикъ закрытый съ одной стороны и усиливающий данный звукъ (§ 113) долженъ имѣть длину близкую $\frac{1}{4}$ длины полной волны этого звука. Если ящикъ открытъ съ обѣихъ сторонъ, то онъ усиливаетъ данный звукъ если составляетъ около $\frac{1}{2}$ длины звуковой волны.

§ 133. Звуковыя волны одновременно идущія въ воздухѣ не мѣшаютъ распространению однихъ другимъ; состояніе воздуха въ мѣстахъ пересѣченія волнъ; интерференція звука. Гельмгольцъ объ этомъ предметѣ говоритъ слѣдующимъ образомъ: „То простое обстоятельство, что когда заразъ говорятъ нѣсколько человекъ мы тѣмъ не менѣе можемъ по произволу прислушиваться къ словамъ того или другаго, если только они не очень заглушаются остальными звуками, свидѣтельствуетъ: во первыхъ, что многія различныя звуковыя волны могутъ пробѣгать чрезъ то же воздушное пространство, не мѣшая одна другой, и во вторыхъ, что человеческое ухо имѣетъ способность сложныя воздушныя движенія, производимыя многими заразъ дѣйствующими звучащими предметами, вновь разлагать въ нашемъ ощущеніи на составныя части. О возможности прохожденія безъ взаимнаго замѣшательства чрезъ одно и то же мѣсто многихъ колебательныхъ движеній всего нагляднѣе можно получить понятіе, наблюдая движеніе многихъ волнъ на водяной поверхности; смотря напримѣръ съ высокаго берега на поверхность моря, когда оно послѣ сильнаго вѣтра начинаетъ успокоиваться. Тогда видны большіе валы бѣгущіе, изъ синей какъ сталь дали, длинными вытянутыми полосами, тамъ и сямъ особенно рѣзко обозначающимися своими пѣнистыми гребнями и въ правильныхъ разстояніяхъ слѣдующими одна за другою, направляясь къ берегу. У берега они отражаются въ разныхъ направленіяхъ, смотря по его очертанію, такъ что приходящія волны вкось перекрещиваются отраженными. Мимоѣдущій паровозъ бороздитъ воду, оставляя волнообразный слѣдъ; птица хватающая съ надежды рыбу возбуждаетъ на водной поверхности маленькія круглыя кольца. Но глазъ наблюдателя легко можетъ отдѣльно слѣдить за всѣми этими различными волнами, большими и малыми, широко-

кими и узкими, прямыми и скривленными, и видитъ какъ, не смѣшиваясь, бѣгутъ онѣ на водной поверхности каждая сама по себѣ, какъ будто не было въ то же время на поверхности воды другихъ движеній и силъ. Признаюсь что, вглядываясь внимательно въ это зрѣлище, я всегда чувствовалъ особаго рода умственное наслажденіе, ибо здѣсь тѣлесному глазу представляется то что для волнъ невидимаго воздушнаго моря можетъ сдѣлать яснымъ духовному глазу ума лишь длинный рядъ сложныхъ заключеній. Совершенно подобное зрѣлище должны мы представлять себѣ внутри, напримѣръ, танцевальной залы. Мы имѣемъ тамъ музыкальные инструменты, говорящихъ людей, шелестящія платья, скользящія ноги, звучащіе стаканы и т. д. Все это возбуждаетъ волны бѣгущія чрезъ воздушное пространство залы, отражающіяся отъ ея стѣнъ, возвращающіяся, вновь встрѣчающія стѣну, вновь отражающіяся, и такъ далѣе до истощенія. Не забудемъ что изъ рта мушкетъ и отъ болѣе низкихъ музыкальныхъ инструментовъ идутъ длинныя волны въ 8 или 12 футовъ длиною, изъ устъ женщинъ короткія въ 2 или 4 фута длиною, шелесть платья производитъ тонкія струйки волнъ, словомъ происходитъ невообразимо сложное пересѣченіе самыхъ разнообразныхъ движеній. И однако ухо въ состояніи отдѣлать одні отъ другихъ составныя части этого столь запутаннаго цѣлаго... Въ случаѣ водяныхъ волнъ возвышеніе водяной поверхности въ каждомъ пунктѣ въ данный моментъ равняется суммѣ *) тѣхъ возвышеній какія въ томъ мѣстѣ и въ тотъ моментъ произвели бы отдѣльныя системы волнъ. Подобнымъ образомъ когда въ данномъ воздушномъ пространствѣ проходятъ многія системы звуковыхъ волнъ, — то перемѣны плотности воздуха, передвиженія и скорости воздушныхъ частицъ внутри слуховаго органа равняются суммѣ тѣхъ перемѣнъ плотности, передвиженій и скоростей, какія произвели бы порознь взятыя, отдѣльныя системы звуковыхъ волнъ.“

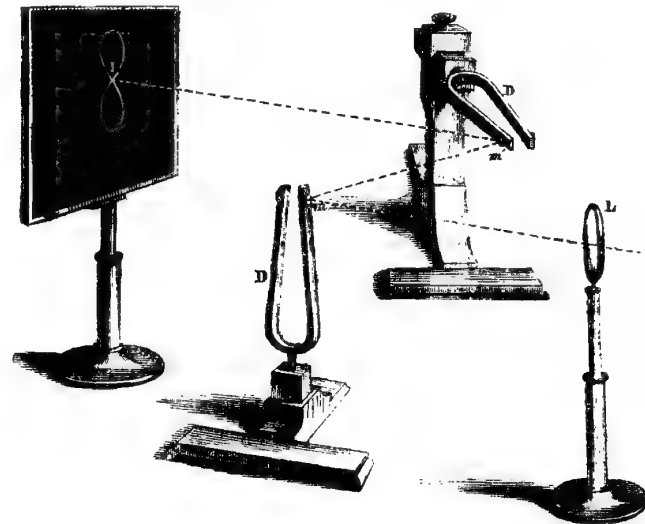
Не мѣшая распространению однихъ другимъ, звуковыя волны могутъ въ данномъ пунктѣ уничтожать одна дѣйствіе другихъ. Звукъ можетъ уничтожаться звукомъ. Такое явленіе называется *интерференціей звука*. Представимъ себѣ два одинаковыхъ звучащихъ тѣла, посылающихъ сжатія и разрѣженія звуковыя волны. Пусть ухо наблюдателя находится въ томъ мѣстѣ, гдѣ въ данный моментъ проходитъ сжатая волна отъ перваго тѣла и разрѣженная отъ втораго. Если сжатіе приносимое первую волною равно разрѣженію приносимому вторую, то они, согласно указанному правилу, должны уничто-

*) Подразумывается: суммѣ алгебраической, т. е. въ которой возвышенія счтаются положительными, пониженія отрицательными величинами, такъ что возвышеніе вмѣстѣ съ равнымъ пониженіемъ даетъ въ суммѣ нуль.

житься взаимно, и воздухъ долженъ остаться въ нормальномъ состояніи. Въ слѣдующій моментъ чрезъ то же мѣсто пройдетъ разрывъ волна отъ перваго тѣла и сжатая отъ втораго, опять взаимно уничтожающаяся. Воздухъ слѣдовательно постоянно останется въ нормальномъ состояніи, и одинъ звукъ уничтожится или по крайней мѣрѣ ослабитъ дѣйствіемъ другаго. Такъ, если держать предъ ухомъ за ножку звучащей діапазонъ и поворачивать его около вертикальной оси, то замѣтимъ попеременно то усиленіе, то ослабленіе звука. Двѣ вѣтви діапазона представляютъ тобою два одинаковыхъ центра звука. Когда эти центры на одинаковомъ разстояніи отъ уха, то одинъ усиливаетъ дѣйствіе другаго; при другомъ положеніи бывають случаи, когда одинъ ослабляетъ дѣйствіе другаго. Подобнымъ образомъ, когда на общемъ поддувалѣ небольшихъ размѣровъ стоятъ двѣ одинаковыя органныя трубки, то воздушный потокъ распределяется обыкновенно такъ, что когда одна трубка посылаетъ въ воздухъ сжатую волну, то другая шлетъ разрывъ. Давъ обѣмъ трубамъ звучать въ одно время, замѣтимъ что звукъ будетъ значительно слабѣе, чѣмъ когда онѣ звучать отдѣльно.

§ 134. Сравненіе діапазоновъ помощью оптическаго изученія звуковыхъ колебаній: опыты Лиссажу. Сравненіе дрожаній двухъ діапазоновъ дающихъ музыкальный аккордъ и повѣрка того даютъ ли они аккордъ въ полной строгости, — о чемъ ухо позволяетъ судить лишь приблизительно, — дѣлается, кромѣ методы одновременнаго черченія зигзаговъ, помощью такъ-называемаго оптическаго изученія звуковыхъ колебаній. Метода эта изобрѣтенная въ пятидесятыхъ годахъ нынѣшняго столѣтія французскимъ ученымъ Лиссажу, въ главныхъ своихъ основаніяхъ состоитъ въ слѣдующемъ. Чрезъ небольшое круглое отверстіе впускаютъ лучъ свѣта; лучъ этотъ когда падаетъ прямо на экранъ, образуетъ на немъ небольшое пятно, которому можно дать круглое очертаніе, если пропустить лучъ чрезъ собирающее стекло *L* (фиг. 186). Но прежде чѣмъ лучъ достигнетъ экрана, его принимаютъ на небольшое зеркало прифланное къ діапазону; отраженный лучъ принимается зеркаломъ втораго діапазона поставленнаго такъ что плоскость проходящая чрезъ его вѣтви перпендикулярна къ плоскости вѣтвей перваго діапазона; послѣ этого вторичнаго отраженія лучъ падаетъ на экранъ образуя свѣтлое круглое пятно. Если приведемъ въ дрожаніе первый діапазонъ, то пятно вслѣдствіе колебанія зеркала этого діапазона, (при расположеніи снаряда представленномъ на чертежѣ) получитъ быстрое вертикальное движеніе взадъ и впередъ и представится въ видѣ вертикальной свѣтлой полосы. Если прекративъ дрожаніе перваго діапазона, заставимъ дрожать второй, то пятно будетъ имѣть горизонтальное движеніе и приметъ видъ горизонтальной полосы. Если, потомъ, приведемъ въ дрожаніе одновременно оба діапазона, то пятно, побуждаемое двигаться сразу въ вертикальномъ и горизонталь-

номъ направленіи, опишетъ фигуру, видъ которой будетъ зависѣть отъ отношенія числа колебаній двухъ діапазоновъ. Если они находятся въ *унисонѣ* (т.-е. дѣлають одно и то же



Фиг. 186.

число качаній), полученная фигура будетъ или кругъ, или эллипсисъ, или прямая линія: если діапазоны будутъ въ отношеніи октавы, то получится фигура въ родѣ цифры 8. Если діапазоны настроены точно, фигура, по мѣрѣ ослабленія дрожаній, сокращается въ размѣрахъ не измѣняя вида и положенія; если хотя немного разстроимъ діапазоны, приклеивъ, напримѣръ, воскъ къ одному изъ нихъ небольшою металлическую массу, фигура получаетъ явственные періодическія измѣненія и какъ бы вращается около оси. Четыре фигуры изображенныя на чертежѣ 187 соответствуютъ первая унисону, вторая октавѣ, третья отношенію числа колебаній 1:3, четвертая квинтѣ 2:3. Объ отношеніи можно судить по числу прикосновеній къ фигурѣ прямыхъ линій, одной проведенной



1:1

1:2

1:3

2:3

Фиг. 187.

вертикально, другой горизонтально. Явление представляется еще отчетливѣе если вмѣсто того чтобы пролагать лучъ на экранъ, смотримъ прямо въ зеркало втораго діапазона, снабдивъ глазъ зрительною трубкою. Собирающее стекло L тогда не нужно.

На практикѣ метода эта прилагается къ устройству діапазоновъ, числа колебаній которыхъ находились бы въ математически точныхъ отношеніяхъ.

§ 135. Колебанія струны; колебаніе цѣлой длины. Исслѣдованіе колебаній струны ведетъ въ заключенію что, при томъ же натяженіи, число ея колебаній зависитъ отъ ея длины, именно что оно *обратно пропорціоноально длинѣ*. Этимъ объясняется таблица длинъ струны, соответствующихъ нотамъ гаммы, приведенная въ § 125 и указавшая съ давнихъ временъ что звуки, составляющіе музыкальные консонансы, находятся въ весьма простыхъ числовыхъ отношеніяхъ *).

Колебанія струны происходятъ различнымъ образомъ смотря по тому какъ она приведена въ движеніе. Фиг. 188 представляетъ простѣйшій случай, когда



Фиг. 188.

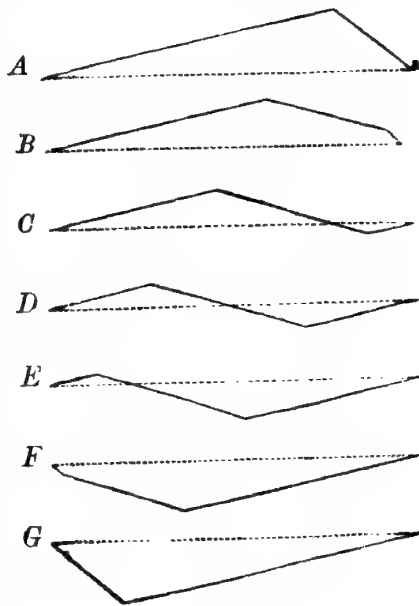
струна, будучи выведена изъ положенія равновѣсія, качается такъ что середина ея дѣлаетъ наибольшіе размахи. Струны въ музыкальныхъ инструментахъ, приводимые въ движеніе пальцами въ случаѣ гитары, смычкомъ въ случаѣ скрипки, молоточкомъ покрытымъ замшей и ударяющимъ не въ середину струны, а близко къ ея краю, въ случаѣ фортепіано, — совершаютъ болѣе сложные колебанія. Фиг. 189

*) „Музыка, по выраженію знаменитаго философа конца XVII и начала XVIII вѣка, Лейбница, есть „тайное и безсознательное упражненіе души въ ариметику“. „Musica est exercitium arithmeticae occultum nescientis se numerare animi“.

изображаетъ, согласно изслѣдованіямъ Гельмгольца, видъ какой въ послѣдовательные моменты принимаетъ струна выведенная изъ положенія равновѣсія остриемъ (какъ въ цитрѣ).

Струна послѣдовательно принимаетъ формы A, B, C, D, E, F, G , потомъ обратно F, E, D, C, B, A , и т. д.

§ 136. Колебаніе струны частями. Если раздѣлить струну на двѣ части такъ чтобы движеніе отъ одной не могло передаваться другой, то, очевидно, будемъ имѣть двѣ струны, числа колебаній кото-

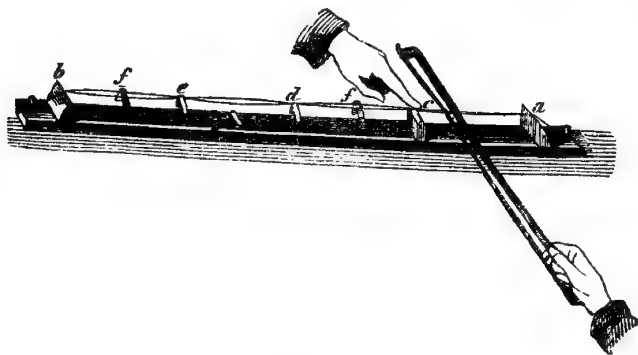


Фиг. 189.

рыхъ будутъ обратно пропорціоноальны ихъ длинамъ; каждая будетъ издавать свой звукъ. Но если мы отдѣлимъ отъ струны часть, напримѣръ четвертую, такъ что между ею и остальною частью не вполнѣ прекратится сообщеніе, если, напримѣръ, при с приложимъ палецъ (фиг. 190) къ слабо подпирающей подставкѣ, то явленіе будетъ иное. Обѣ части издадутъ звукъ *одинаковой* высоты, соответствующей меньшей изъ нихъ. Соверъ *), замѣтившій это явленіе заключилъ, что

*) Французскій ученый, родился въ Ла-Флешѣ въ 1653 году, былъ до восьми лѣтъ немъ и всю жизнь кособокоязыченъ. Съ юнаго возраста оказывалъ особую склонность къ механикѣ;

„такъ какъ $\frac{1}{2}$ струны издають тотъ же звукъ какъ $\frac{1}{4}$, то, очевидно, что большая часть не можетъ дѣлать коле-



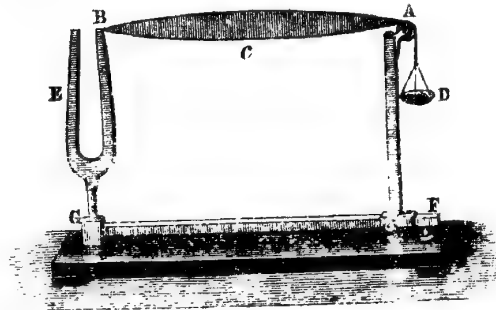
Фиг. 190.

банія сообразныя ея длинѣ, а должна раздѣлиться на три части, равныя каждой отдѣленной четверти и колеблющіяся отдѣльно; между такими отдѣльно колеблющимися частями должны быть неподвижныя точки.“ Такія точки Совѣръ называлъ *узлами* (noeuds), мѣста же наибольшаго колебанія *валами* (ventres). Когда Совѣръ сообщилъ свои опыты своимъ сочленамъ по Парижской Академіи Наукъ, нѣкоторые вспомнили что подобный опытъ описанъ въ мемуарѣ англійскаго ученаго Валлиса (въ 1677 году). Заключение же объ узлахъ было повѣрено слѣдующимъ образомъ (*Исторія Академіи* за 1701 годъ): „въ тѣхъ точкахъ гдѣ, по предположенію, должны быть узлы и валы были насажены маленькіе согнутые кусочки бумаги, долженствовавшіе упасть при малѣйшемъ движеніи. Струну привели въ колеба-

учился физикъ и математикъ въ Парижѣ, куда пришелъ пѣшкомъ. Сдѣлавшись (1696) членомъ Академіи Наукъ предавался изслѣдованію музыкальной акустики, хотя не обладалъ вѣрнымъ слухомъ. Умеръ въ 1716 году.

ніе и замѣтили съ большимъ удовольствіемъ и даже удивленіемъ что бумажки бывшія на валахъ тотчасъ упали, на узлахъ же остались“.

Привести струну въ колебаніе цѣлою длиною или отдѣльными частями можно также прикрѣпивъ ее однимъ концомъ къ вѣтви діапазона (фиг. 191), натянувъ другой съ опредѣлен-



Фиг. 191.

ною силой. помощью, наприкладъ, привѣшеннаго груза, и проводя смычкомъ по діапазону. При извѣстномъ натяженіи, струна приметъ видъ изображенный на чертежѣ; ослабляя натяженіе можно заставить струну колебаться, разбившись на двѣ, на три и т. д. отдѣльныя части, какъ бы на отдѣльныя струны, раздѣленныя узлами.

§ 137. Гармоническіе звуки сопровождающіе преобладающій основной звукъ. Совѣръ сдѣлалъ слѣдующее важное наблюденіе. „Если говорить оны, тронувъ пальцами, приведемъ въ дрожаніе струну клавикорды, то, кромѣ основнаго звука, тонкое и опытное ухо слышитъ другіе звуки болѣе высокіе чѣмъ основной“, а именно звуки *гармоническіе* по отношенію къ преобладающему основному, то-есть такіе числа колебаній которыхъ вдвое, втрое, вчетверо и т. д. болѣе числа колебаній основнаго (§ 127). Это явленіе не исключительно свойственное струнѣ. Изслѣдованія Гельмгольца въ новѣйшее время показали что большая часть звуковъ издаваемыхъ музыкальными инструментами сопровождаются гармоническими тонами и что музыкальный звукъ вообще есть обыкновенно совокупность основнаго тона съ болѣе или менѣе числомъ гармоническихъ, участвующихъ въ общемъ звучаніи, въ разныхъ случаяхъ, въ разномъ числѣ и съ разною силою. Мы потому не замѣчаемъ этихъ верхнихъ тоновъ сопровождающихъ основной тонъ, что не привыкли обращать вниманіе на это обстоятельство. Но по мощію *резонаторовъ* легко изъ общей суммы звуковъ, составля-

ющих данный музыкальный звук, выделить составные гармонические части. Пусть основной тонъ соответствует n колебаниямъ; возьмемъ рядъ резонаторовъ способныхъ усиливать звуки соответствующие $2n$, $3n$, $4n$ колебаний. Прилагая ихъ последовательно къ уху, узнаемъ какіе гармонические тоны и съ какою силою сопровождаютъ данный тонъ. Вновь прибѣгнувъ къ резонаторамъ, узнаемъ какіе гармонические и въ какой силѣ сопровождаютъ этотъ тонъ и можемъ убѣдиться что разница въ *звучании* или *музыкальномъ оттѣнкѣ* звука обуславливается именно присутствіемъ гармоническихъ тоновъ въ разномъ числѣ и разной силы. Обнаружить въ звукѣ струны присутствіе гармоническихъ тоновъ можно также слѣдующимъ приемомъ, употребленнымъ знаменитымъ англійскимъ ученымъ начала нынѣшняго столѣтія Юнгомъ (Young). Если въ то время какъ струна звучитъ (будучи, напримѣръ, приведена въ дрожаніе ударомъ молоточка на нѣкоторомъ разстояніи отъ одного изъ концовъ), приложимъ къ срединѣ ея перо или иное легкое препятствіе, то основной тонъ (какъ соответствующій колебаниямъ цѣлой струны теперь невозможнымъ) замретъ, но октава и вообще тоны для которыхъ средина струны есть узелъ будутъ слышны. Если приложимъ перо на трети струны, то останутся звуки для которыхъ узлы на третяхъ струны и т. д. Бываютъ случаи когда высшіе тоны, сопровождающіе основной, суть по отношенію къ нему *негармоническіе*. Напримѣръ, если привести діапазонъ въ дрожаніе ударомъ, то вмѣстѣ съ основнымъ тономъ, слышимъ рѣзкіе верхніе негармонические тоны, скоро замирающіе. Но подобные тоны не сливаются съ основнымъ въ одинъ музыкальный звукъ.

§ 138. Тоны простые и сложные; составъ сложнаго тона изъ простыхъ. Тонъ который не сопровождается высшими гармоническими, называется *простымъ*. Исследования Ома и Гельмгольца показали что слои воздуха, передающіе такой тонъ, колеблются по закону маятника. Звуковая волна, распространяющаяся въ слѣдствіе того что воздушные слои приобѣтаютъ и передаютъ по закону маятника, называется *простой волною*. Такія волны возбуждаются, напримѣръ, діапазономъ снабженнымъ усиливающимъ звукъ ящикомъ. Всякая иная волна называется *сложною*. Импульсъ, какой простая волна производитъ на тѣло котораго достигаетъ, есть *простой импульсъ* въ противоположеніи, въ продолженіе импульса, слѣдуетъ другому закону. Согласно этому опредѣленію, *простой тонъ* есть, слѣдовательно, ощущение возбуждаемое въ ухѣ періодическою послѣдовательною простыхъ импульсовъ; *сложный тонъ* или музыкальный звукъ вообще (Klang) есть ощущение, возбуждаемое послѣдо-

вательностію сложныхъ импульсовъ *). Математическое исследование предмета показываетъ что каждую сложную волну можно теоретически разсматривать какъ совокупность совместно идущихъ простыхъ гармоническихъ волнъ, то есть такихъ длинъ которыхъ, сравнительно съ первою изъ нихъ, суть $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ и т. д. Математическая теорія подтверждается опытами доказывающими что, возбудивъ въ воздухѣ одновременно рядъ простыхъ гармоническихъ волнъ, можно чрезъ ихъ совокупное дѣйствіе произвести самыя разнообразныя сложные тоны. Гельмгольцъ доказалъ что, заставляя одновременно звучать рядъ діапазоновъ дающихъ простые тоны, можно воспроизвести звуки съ самымъ сложнымъ звучаніемъ, какъ напримѣръ тѣ оттѣнки звучанія, какіе слышатся когда одну и ту же ноту мы поемъ на разныхъ гласныхъ буквы a , e , i , o , u .

Слѣдующій опытъ даетъ понятіе о сліяніи нѣсколькихъ гармоническихъ тоновъ въ одинъ тонъ звучащій нераздѣльно. На ящикѣ весьма большаго діапазона ставится рядъ малыхъ соответствующихъ четверей, пяти или болѣе его гармоническимъ тонамъ. Смычкомъ всѣ одновременно приводятся въ дрожаніе. Ухо слышитъ одинъ полный звукъ. Но если прекратить звукъ большаго діапазона, тотчасъ послышатся звуки остальныхъ болѣе или менѣе раздѣльно.

Приведенные въ предыдущемъ параграфѣ опыты Совѣра и Гельмгольца доказываютъ что ухо *ощущаетъ лишь простые тоны* и когда на него дѣйствуетъ сложная волна, то оно разлагаетъ ея импульсъ на простые импульсы соответственно простымъ волнамъ, изъ которыхъ *теоретически* можетъ представить себѣ состоящую эту сложную волну. Объясненіе этого факта и вообще *теорія слуха* основывается, согласно Гельмгольтцу, на явленіи *созвучія*.

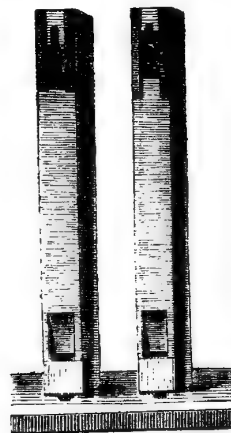
§ 139. Явленіе созвучія какъ основаніе теоріи слуха. Известно что помощью весьма слабыхъ толчковъ, если только производить ихъ періодически чрезъ опредѣленные промежутки, можно раскачать весьма большую массу. Если, напримѣръ, дергать за веревку привѣшенную къ тяжелому языку весьма большаго колокола чрезъ промежутки времени *равные періоду качанія* языка, то сообщаемые слабые импульсы будутъ дѣйствовать согласно; языкъ въ началѣ получитъ очень малый размахъ, но такъ какъ размахъ этотъ будетъ непрерывно уве-

*) Простота импульса акустическая, очевидно, есть понятіе иное отъ простоты механической. Рядъ прерывистыхъ толчковъ производимыхъ сиреною, въ механическомъ смыслѣ, столь же простое явленіе какъ рядъ постепенныхъ скатій и разряженій посылаемыхъ вѣтвями діапазона, но въ акустическомъ отношеніи импульсы сирены возбуждаютъ сложное ощущение, и тонъ ея состоитъ изъ основнаго въ соединеніи съ верхними гармоническими, далеко отстоящими отъ основнаго.

личиваться при каждом импульсе, то мало-по-малу языкъ сильно раскачается. Подобное явление бываетъ когда слабые импульсы звуковыхъ волнъ ударяются въ тѣло, періодъ качанія котораго равенъ періоду ударающей волны. Такъ, если поставить на пѣкоторомъ разстояніи двѣ струны настроенныя въ унисонъ и привести одну изъ нихъ въ дрожаніе, то другая сама собою придетъ въ созвучное дрожаніе, вслѣдствіе слабыхъ толчковъ сообщаемыхъ ей чрезъ воздухъ и твердыя части и повторяющихся чрезъ промежутки времени равные періоду ея собственныхъ качаній. Такимъ же образомъ если вблизи фортепіанной деки съ натянутыми на ней струнами издать какой-нибудь звукъ, то онъ приведетъ въ созвучное дрожаніе ту изъ струнъ которая настроена съ нимъ въ унисонъ, въ чемъ можно убѣдиться, насадивъ на струнѣ согнутыя бумажки (§ 136): онѣ будутъ сброшены. При этомъ если издаваемый тонъ есть тонъ сложный, то-есть такой которой можно разсматривать состоящимъ изъ основнаго + гармоническіе, то въ созвучное дрожаніе придутъ какъ струна настроенная въ унисонъ съ основнѣмъ звукомъ, такъ и струны настроенныя въ унисонъ съ сопровождающими его гармоническими тонами. Струны деки такимъ образомъ *физически* разлагаютъ сложное колебаніе на составныя части какія усматриваетъ въ немъ *математическая* теорія. Еслибы мы вообразили себѣ каждую струну снабженною первною нитью способною раздражаться когда струна дрожитъ и передавать ощущеніе въ мозгъ, то имѣли бы близкое подобіе слуховаго аппарата, согласно ученію Гельмгольца. Полость внутренняго уха выслана волокнистою тканью; волокна ея, однѣ натянутыя какъ струны, другія укрѣпленныя одны концами и свободныя на другомъ представляютъ собою какъ бы тончайшія струны и палочки, способныя дрожать въ унисонъ съ различными простыми тонами. Волокна эти находятся въ сообщеніи съ нервными нитями. Звучащее тѣло приводитъ въ созвучное дрожаніе тѣ волокна уха которыя способны колебаться съ нимъ въ унисонъ. Дрожаніе это раздражаетъ соответствующія нервныя нити и такимъ образомъ дѣйствуетъ на слуховой нервъ, производя ощущеніе звука. Такъ какъ волокна чрезвычайно разнообразны по величинѣ и упругости, то для самыхъ разнообразныхъ простыхъ тоновъ и составленныхъ изъ нихъ сложныхъ есть созвучные элементы въ органѣ слуха. Сложный тонъ разлагается ухомъ на простые точно также какъ разлагается онъ струнами фортепіанной деки, и мы ощущаемъ его какъ совокупность простыхъ гармоническихъ тоновъ.

§ 140. Бѣнія. Гельмгольцево рѣшеніе вопроса о причинахъ консонанса и диссонанса тоновъ. Когда одновременно звучать два тона, числа качаній которыхъ только *приблизительно* одинаковы, такъ что они не даютъ строгаго унисона, то ухо ощущаетъ послѣдовательно усиленія и ослабленія звука называемыя *бѣніями* (battements, Schwebungen). Опытъ пока-

зываетъ, что если разность въ числѣ колебаній въ секунду есть n , то слышится въ секунду n бѣній. Бѣнія удобно можно наблюдать на двухъ одинаковыхъ діапазонахъ, если ихъ слегка разстроятъ; тогда если одинъ дѣлаетъ, напримѣръ, 256 полныхъ колебаній въ секунду, а другой 262, то будутъ слышны 4 бѣнія въ секунду. Бѣнія слышны съ особенною силой если (фиг. 192), — установивъ неодинаковымъ образомъ дощечки закрывающія сдѣланныя сверху боковыя отверстія двухъ одинаковыхъ органнхъ трубокъ, — разстроимъ ихъ согласіе.



Фиг. 192.

бываетъ около 30 въ секунду. Когда ихъ большее число, неприятность ощущенія уменьшается; когда число ихъ перейдетъ за 130, вліяніе ихъ перестаетъ быть замѣтнымъ. Потому, чтобы судить составляютъ ли два данные музыкальные звука консонансъ или диссонансъ, надо сравнить числа колебаній тоновъ, основнхъ и гармоническихъ изъ которыхъ состоятъ эти звуки, и смотрѣть нѣтъ ли звуковъ дающихъ бѣнія въ такомъ числѣ, которое обусловливаетъ неприятность ощущенія. Октава есть совершеннѣйшій изъ консонансовъ, ибо если сложный тонъ В составляетъ октаву сложнаго тона А, то основный звукъ тона В совпадаетъ съ первымъ гармоническимъ тона А; первый гармоническій В съ третьимъ гармоническимъ А и т. д., и между каждою парю звуковъ (положивъ, напримѣръ, что основный звукъ А дѣлаетъ 256 колебаній) разность въ числѣ колебаній будетъ слишкомъ значительна чтобы дать неприятныя бѣнія.

ОТДѢЛЪ ТРЕТІЙ

ТЕПЛО И СВѢТЪ.

§ 141. Ощущеніе тепла и свѣта. Для воспріятія дѣйствія на наше тѣло нагрѣтыхъ тѣлъ мы не имѣемъ особаго органа, который бы по отношенію къ теплу игралъ такую роль какъ ухо по отношенію къ звуку. Мы пользуемся чувствомъ осязанія чтобы различать теплыя и холодныя тѣла, причемъ тѣла эти дѣйствуютъ на нервы нашей кожи не только непосредственно касаясь ея, но и на разстояніи, какъ солнце, очагъ, принесенное съ мороза сильно охлажденное тѣло и т. д. Если, впрочемъ, тѣло сильно нагрѣто, то мы узнаемъ о его присутствіи не только по ощущенію тепла принимаемому оболочкою нашего тѣла, но и по ощущенію *свѣта* принимаемому особымъ органомъ *глазомъ*, играющимъ по отношенію къ свѣту такую же роль какъ ухо по отношенію къ звуку. Какъ увидимъ, два эти дѣйствія, нагрѣвающее и освѣщающее, видимому совершенно различныя, зависятъ отъ одной и той же причины: явленіе которое вообще производитъ нагрѣваніе, при нѣкоторыхъ условіяхъ, способно кромѣ того дѣйствовать на зрительный нервъ и въ такомъ случаѣ ощущается нами какъ свѣтъ.

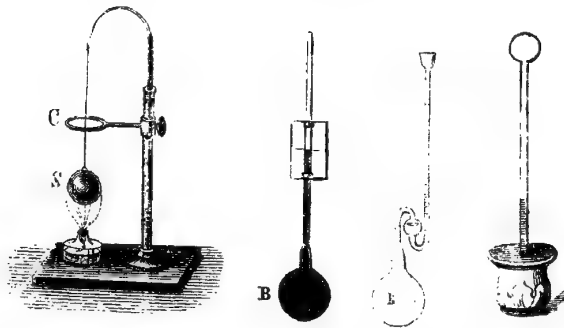
Сужденіе о степени нагрѣтости тѣла, основанное на чувствѣ осязанія, весьма не точно, такъ какъ наша кожа, для различенія степеней тепла, есть инструментъ мало чувствительный и нерѣдко ведущій къ

ошибочнымъ заключеніямъ. Если, напримѣръ, опустить палецъ одной руки въ стаканъ съ нагрѣтою водою, палецъ другой руки въ стаканъ съ холодною водою и потомъ перенести оба пальца въ одинъ стаканъ съ водою обыкновенной комнатной теплоты, то вода эта покажется холодною для пальца вынутаго изъ нагрѣтаго сосуда и теплою для пальца бывшаго въ холодной водѣ. Одинаково нагрѣтые кусокъ металла и кусокъ дерева кажутся намъ имѣющими не одинаковую степень тепла. Вообще мы судимъ о термическомъ состояніи вѣшнихъ предметовъ по сравненію съ термическимъ состояніемъ нашего тѣла. Вслѣдствіе этого мы различаемъ ощущеніе *тепла и холода*, хотя холодъ не есть самостоятельное явленіе, а только меньшая степень тепла.

I. Дѣйствія тепла на тѣла не сопровождающіяся измѣненіемъ ихъ состоянія.

§ 142. Расширеніе тѣлъ отъ тепла. Нагрѣваніе и охлажденіе тѣлъ сопровождаются измѣненіями на наблюденія которыхъ можно, съ несравненно большею точностію чѣмъ на показаніяхъ чувства осязанія, основать сужденіе о томъ: нагрѣвается ли тѣло или охлаждается, или остается безъ перемѣны въ термическомъ отношеніи. Главное измѣненіе этого рода, общее почти всѣмъ тѣламъ, есть *расширеніе* тѣлъ при нагрѣваніи. Мѣдный шаръ (фиг. 193), будучи разогрѣтъ, не проходитъ чрезъ кольцо, хотя не разогрѣтый легко чрезъ него проходилъ. Жидкость въ стеклянномъ сосудѣ, состоящемъ изъ резервуара и трубки съ малымъ діаметромъ (фиг. 194), при нагрѣваніи, поднимается въ трубкѣ, свидѣтельствуя что жидкія тѣла расширяются значительно болѣе, чѣмъ сколько увеличивается, вслѣдствіе расширенія стекла, вѣстимость стекляни-

наго сосуда, въ которомъ жидкость заключена. Что сосудъ расширяется въ свою очередь въ томъ не трудно

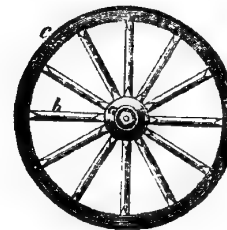


Фиг. 193 Фиг. 194. Фиг. 195. Фиг. 196.

убѣдиться, наблюдая, при погруженіи въ теплую воду начальное движеніе жидкости въ трубкѣ сосуда изображеннаго на фиг. 194, если резервуаръ его имѣетъ довольно толстыя стѣнки. Въ первый моментъ погруженія, жидкость въ трубкѣ понижается, ибо сосудъ, вслѣдствіе нагреванія, расширился, и вмѣстимость его увеличилась, тогда какъ нагреваніе не могло еще сообщить жидкости. Но какъ скоро она нагреется, расширение ея перегонитъ расширение сосуда, и столбъ жидкости станетъ подыматься. Если стѣнки резервуара тонки, то моментъ пониженія жидкости ускользаетъ отъ наблюденія, и мы наблюдаемъ только повышение ея. Фиг. 195 изображаетъ снарядъ доказывающій расширение воздуха и газовъ отъ теплоты. При нагреваніи, ртуть или другая жидкость, отдѣляющая газъ отъ окружающей атмосферы, повышается въ открытомъ колѣнѣ согнутой трубки, свидѣтельствуя о расширеніи газа и увеличеніи его упругости отъ тепла. То же доказывается слѣдующимъ опытомъ извѣстнымъ уже въ эпоху Галилея, который „бралъ стеклянный сосудъ величиною съ куриное яйцо снаб-

женный тонкою трубою локтя въ два длиною, нагревалъ сосудъ рукой и опрокидывалъ въ поставленный стаканъ (фиг. 196). Когда воздухъ охлаждался, вода поднималась въ трубкѣ больше чѣмъ на локоть выше уровня жидкости въ сосудѣ. Галилей воспользовался этимъ опытомъ чтобы сдѣлать инструментъ для измѣренія степени тепла и холода.

§ 143. Нѣсколько примѣровъ расширенія твердыхъ тѣлъ изъ технической практики. При постройкѣ колесъ для локомотивовъ и вагоновъ ободъ (фиг. 197) надѣвается на колесо, будучи раскаленъ до-красна. По охлажденіи онъ крѣпко охватываетъ колесо, придавая ему прочность. Толстыя желѣзные листы изъ которыхъ дѣлаются паровые котлы скрѣпляются между собою (фиг. 198) раскаленными гвоздями. Ударами молота сплющиваютъ кончики, и гвозди, по охлажденіи, плотно скрѣпляютъ листы. Газопроводныя и водопроводныя трубы дѣлаются изъ частей входящихъ одна въ другую (фиг. 199), такъ что онѣ могутъ расширяться не толкаясь взаимно. Для этой же цѣли между полосами рельсовъ оставляютъ небольшіе промежутки.



Фиг. 197.



Фиг. 198.



Фиг. 199.

§ 141. Понятіе о термометрѣ и температурѣ. Нѣтъ надобности измѣрять непосредственно объемъ даннаго тѣла чтобы изучать измѣненія его термическаго состоянія. Достаточно привести его въ надлежащее прикосновеніе съ другимъ тѣломъ, сравнительно малыхъ размѣровъ, расширение котораго наблюдать удобно и которое носитъ названіе *термометра*. Если, напримѣръ,

въ сосудъ съ нагрѣтою водою опустимъ небольшой резервуаръ съ трубкою наполненный ртутью или иною жидкостью (въ родѣ изображеннаго на фиг. 194), то замѣтимъ что колонна жидкости въ трубкѣ быстро повысится до нѣкоторой опредѣленной высоты, которая осталась бы безъ измѣненія, еслибы вода не охлажда-лась съ теченіемъ времени. Такой резервуаръ съ труб-кой есть *термометръ*. Указанный моментъ опыта выражается словами: *термометръ пришелъ въ равнове-сье температуры* съ водою въ которую погруженъ. По мѣрѣ охлажденія воды, вмѣстѣ охлаждается и тер-мометръ, въ каждый моментъ стремясь придти въ равновѣсье температуры съ водою. Такимъ обра-зомъ приводя термометръ въ прикосновение съ раз-личными тѣлами или оставляя въ воздухѣ мы мо-жемъ по движенію его жидкой колонны заключить объ измѣненіяхъ термического состоянія или *температуры* прикасающихся къ термометру, а въ случаѣ воздуха, и окружающихъ термометръ тѣлъ.

§ 145. *Термометръ Флорентинскихъ академиковъ*. Члены Флорентинской академіи *del Cimento* (въ шести-десятихъ годахъ XVII вѣка, первого, по времени осно-ванія, ученаго общества въ Европѣ) употребили въ ка-чествѣ термометра резервуаръ съ трубкой наполнен-ный спиртомъ (фиг. 200), который описывается слѣду-ющими словами: «Термометръ есть инструментъ слу-жащій для измѣренія степени тепла воздуха. Онъ со-стоитъ изъ стеклянной трубки оканчивающейся на одномъ концѣ шарикомъ изъ того же вещества... Термометръ тѣмъ чувствительнѣе чѣмъ болѣе ді-аметръ шарика сравнительно съ діаметромъ трубки... Чтобы наполнить термометръ разогрѣвають на огнѣ шарикъ, дабы выгнать воздухъ чрезъ открытое от-верстіе, и погружаютъ тотчасъ же отверстие въ спиртъ, который и входитъ въ снарядъ по мѣрѣ того какъ внутренний воздухъ (охлаждаясь) спускается... Трубку раздѣляютъ помощью циркуля на десять равныхъ ча-стей, которыя и отмѣчаютъ маленькими шариками изъ бѣлой эмали, для посредствующихъ дѣленій, употреб-ляя шарикъ другого цвѣта... Спиртъ предпочтенъ во-Фиг. 200
дѣкъ затемняющій стекло». Произвольность раздѣленія трубки была причиною что разные инструменты въ однихъ и тѣхъ

же условіяхъ показывали не одинаковое число градусовъ, и потому опыты произведенные съ разными инструментами не могли быть сравниваемы между собой если инструменты эти не были сравнены непосредственно.

§ 146. *Термометръ Реомюра*. Реомюръ *) пожелалъ сдѣлать термометры которыхъ дѣленія не были бы произвольны, такъ что показанія одного инструмента могли бы быть переводимы на показанія другого безъ непосредственнаго сличенія. Для этой цѣли онъ предложилъ считать градусомъ термометра при-ращеніе объема жидкости въ трубкѣ равное опредѣленной доли первоначальнаго объема, какой имѣетъ жидкость когда термометръ погруженъ въ тающій снѣгъ (опытъ показалъ что во все время пока снѣгъ окружающій термометръ таетъ, высота жидкости въ трубкѣ термометра остается неизмѣняемою свидѣтельствуя о *постоянствѣ* температуры таянія льда). Реомюръ давалъ своимъ термометрамъ значительно болѣе размѣры чѣмъ какіе употреблялись въ его время и употребля-ются нынѣ, и прежде наполненія термометра спиртомъ *кали-бровалъ* его, т.-е. дѣлалъ трубку на части равнаго объема. Принявъ очень маленькую мѣрку за единицу и измѣривъ ею нѣсколько мѣрокъ болѣе значительныхъ размѣровъ, онъ паливалъ въ термометръ, помощію тонкой воронки, *тыся-чу* мѣрокъ воды, соразмѣряя количество такъ чтобы эта вода, равная по объему тысячѣ мѣрокъ, наполнила резервуаръ и нѣкоторую часть трубки. Затѣмъ, вливая по мѣрѣ ртути (чтобы избѣгнуть испаренія при наливаніи), отмѣчалъ градусы 1°, 2°, 3°... поставивъ нуль при первоначальной вершинѣ жидко-сти. Когда трубка такимъ образомъ была раздѣлена на части равнаго объема, изъ коихъ каждая равна тысячной долѣ вну-тренняго объема снаряда до точки отмѣченной нулемъ, Реомюръ, вливая ртуть и воду, наполнялъ снарядъ спиртомъ такъ чтобы вершина спиртной колонны была при 0° когда термометръ об-ложенъ тающимъ снѣгомъ. Когда, при другихъ обстоятельствахъ, вершина колонны будетъ при 15, на примѣръ, дѣленіяхъ, то значить объемъ спирта увеличился на 15-тысячныхъ долей: тер-мометръ показываетъ 15° и т. д. Опустивъ свой термометръ въ кипящую воду, Реомюръ замѣтилъ что спиртъ (закипающій значительно ранѣе воды) скоро приходитъ въ кипѣніе. Онъ вынималъ тотчасъ термометръ и замѣчалъ высоту колонны когда кипѣніе прекращалось; погружалъ опять и вновь замѣ-чалъ высоту. Опытъ показалъ что, послѣ нѣсколькихъ погру-женій, успокоившійся послѣ кипѣнія спиртъ останавливался

*) Реомюръ, французскій ученый, родился въ 1683 г., Рано попалъ въ Академію Наукъ (1708), въ теченіе пятидесяти лѣтъ былъ въ числѣ ея полезнѣйшихъ членовъ. Особенно замѣча-тельны его труды по части технологіи (приготовленіе стали) и зоологіи (естественная исторія насекомыхъ).

на определенной высотѣ, не измѣнявшейся при новыхъ погруженіяхъ. Высота колонны соотвѣтствовала 80 дѣленіямъ. Отсюда 80° какъ точка кипѣнія воды по Реомюрову термометру.

§ 147. Термометръ Фаренгейта. Фаренгейтъ, славившійся искусствомъ готовить чувствительные и согласные между собою термометры, предпочелъ наполнять ихъ ртутью. Принявъ въ соображеніе что температура тающаго снѣга далеко не есть низшая степень тепла, онъ поставилъ 0° въ томъ мѣстѣ гдѣ останавливается ртуть когда термометръ погруженъ въ охлаждающую смѣсь изъ льда и соли. Точку кипѣнія воды отмѣчалъ числомъ 212, раздѣляя пространство между 0° и 212° на 212 равныхъ частей или градусовъ; причемъ температура таянія льда соотвѣтствовала 32°. На практикѣ, повидимому, Фаренгейтъ не опредѣлялъ, вслѣдствіе измѣчивости дѣйствія охлаждающихъ смѣсей, своей низшей точки, а отмѣчалъ точку таянія и точку кипѣнія, раздѣляя пространство между ними на 180 частей, и продолжалъ дѣленіе на 32 градуса ниже до 0. Трудно рѣшить, почему для обозначенія температуры кипѣнія Фаренгейтъ избралъ число 212. Онъ упоминаетъ о температурѣ человеческого тѣла какъ о постоянной точкѣ, соотвѣтствующей почти 100° его термометра. По показанію германскаго ученаго XVIII вѣка, извѣстнаго философа Вольфа, крайнія точки Фаренгейтовой скалы суть: температура смѣси льда и соли и температура кипѣнія ртути, пространство между которыми дѣлится на 600 равныхъ частей, что даетъ 32° для температуры замерзанія воды.

§ 148. Воздушный термометръ Галилея и другихъ. Снаряды въ родѣ изображеннаго на фиг. 196 Галилеемъ и нѣкоторыми другими учеными его эпохи также употреблялись въ качествѣ термометровъ. Но такіе весьма чувствительные воздушные термометры представляютъ то неудобство, что движеніе жидкости въ нихъ зависитъ отъ двухъ причинъ: измѣненія температуры и измѣненія атмосфернаго давленія. Еслибы давленіе атмосферы постоянно было одно и то же, то колонна жидкости въ трубкѣ опускалась бы и поднималась единственно вслѣдствіе нагрѣванія и охлажденія внутренняго воздуха. Но такъ какъ давленіе атмосферы измѣняется, то колонна движется и при постоянной температурѣ. Голландскій механикъ XVII вѣка Дреббель, поселившійся въ Англии, которому многими приписывалось самое изобрѣтеніе термометра, употреблялъ подобные снаряды не столько для опредѣленія степеней тепла, сколько какъ примѣръ *perpetuum mobile*.

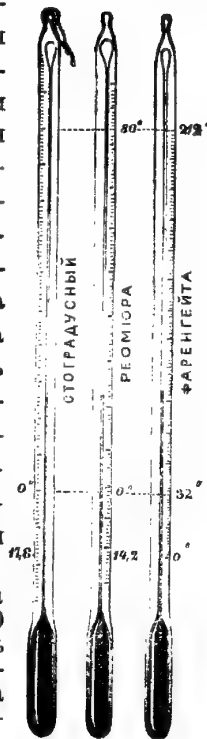
§ 149. Стоградусный термометръ. Шведскій ученый Цельзій предложилъ (1742 г.) нынѣ наиболѣе употребительное въ научныхъ сочиненіяхъ стоградусное раз-

дѣленіе термометрической скалы *). Онъ предложилъ принять за основныя точки термометра точку таянія льда и точку кипѣнія воды, и раздѣлить пространство между ними на сто равныхъ частей или градусовъ. Фиг. 201 изображаетъ три одинаковыхъ термометра съ различными скалами. 100° стоградуснаго термометра соотвѣтствуютъ 80° Реомюра и 212° Фаренгейта. Нуль термометра Фаренгейта находится на 32 дѣленія ниже точки таянія льда (при которой, слѣдовательно, стоитъ число 32). Градусы холода отмѣчаются знакомъ — (градусы тепла отмѣчаются знакомъ +) начинаются, слѣдовательно, на термометрѣ Фаренгейта на 32 дѣленія ниже точки таянія льда.

§ 150. Переведеніе показаній термометра съ одной скалы на другую. Такъ какъ 100 градусовъ Цельзія равняются 80 градусамъ Реомюра, то для переведенія показаній стоградуснаго термометра на скалу Реомюра надо число градусовъ стоградуснаго термометра помножить на $\frac{80}{100} = \frac{4}{5}$. Наоборотъ, чтобы перевести данное число градусовъ термометра Реомюра на стоградусную скалу надо это число помножить на $\frac{5}{4}$.

Для переведенія Фаренгейтовой скалы на стоградусную служитъ формула $C = \frac{5}{9} (F - 32)$, гдѣ F число градусовъ термометра Фаренгейта, C та же температура на стоградусной скалѣ. Наоборотъ чтобы данное число C градусовъ Цельзія перевести на скалу Фаренгейта служитъ формула $F = \frac{9}{5} C + 32$.

Приводимъ краткую сравнительную таблицу показаній различныхъ термометровъ:



Фиг. 201.

*) Указанія на температуры въ нашемъ сочиненіи сдѣланы также по стоградусному термометру.

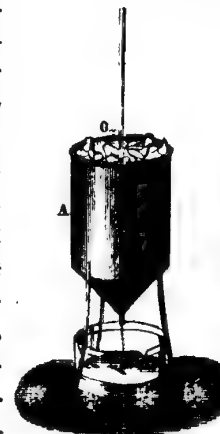
Цельзий	Реомюръ	Фаренг.	Реомюръ	Цельзий	Фаренг.
— 40	— 32	— 40	— 30	— 37,5	— 35,5
— 30	— 24	— 22	— 20	— 25	— 13
— 20	— 16	— 4	— 10	— 12,5	9,5
— 10	— 8	14	0	0	32
0	0	32	10	12,5	54,5
10	8	50	20	25	77
20	16	68	30	37,5	99,5
30	24	86	40	50	122
40	32	104	60	75	167
80	64	176	80	100	212
100	80	212			

§ 151. Нѣсколько подробностей о приготовленіи точныхъ термометровъ. Выбравъ трубку и раздѣля ее на значительное число равныхъ частей *по объему* (операция эта называется *калибровкой* трубки), выдуваютъ на концѣ ея шарикъ или, лучше, припаиваютъ къ ея концу цилиндрической резервуаръ. Чтобы наполнить снарядъ ртутью, на другомъ концѣ трубки дѣлаютъ (выдувая или припаявая) расширение въ формѣ воронки (Фиг. 202), которое и наполняютъ ртутью. Вслѣдствіе тонкости канала, ртуть не входитъ въ него, но если погрѣть резервуаръ, то часть воздуха будетъ выгнана, и когда послѣдуетъ охлажденіе, атмосферное давленіе вгонитъ ртуть въ трубку и резервуаръ. Вновь нагрѣвъ ртуть резервуара до кипѣнія, можно выгнать весь воздухъ и



Фиг. 202.

снарядъ весь наполнится ртутью. Подогрѣвъ термометръ нѣсколько выше того предѣла температуры для какого онъ назначается, выгоняютъ излишнюю ртуть и запаиваютъ конецъ трубки. Затѣмъ опредѣляютъ *постоянныя точки*: *точку таянія льда* или 0° и *точку кипѣнія воды*. Для опредѣленія первой опускаютъ снарядъ въ сосудъ съ тающимъ льдомъ (Фиг. 203) и отмѣчаютъ гдѣ останавливается ртуть. Чтобы опредѣлить точку кипѣнія, термометра не погружаютъ прямо въ кипящую воду, а помещаютъ его въ паръ, идущемъ отъ кипящей воды, отчасти потому что температура въ разныхъ слояхъ кипящей воды не совсѣмъ одинакова, отчасти потому что вода разной степени химической чистоты (колодезная, дистиллированная) и въ разныхъ сосудахъ кипитъ не при одинаковой температурѣ (въ металлическомъ, напримѣръ, закипаетъ нѣсколько раньше чѣмъ въ стеклянномъ). Между тѣмъ температура пара отъ этихъ условій не зависитъ и измѣняется лишь въ зависимости отъ давленія окружающаго воздуха. Условились считать за 100° (или 80, если скала Реомюра) ту температуру, какую имѣетъ паръ кипящей воды, когда кипѣніе происходитъ при барометрическомъ давленіи 760 миллиметровъ. Если въ моментъ опыта барометръ показываетъ менѣе 760 милл., то высота, на которой останавливается ртуть термометра, обозначаетъ нѣсколько менѣе 100° и наоборотъ температура болѣе 100°, если давленіе выше 760 милл. Какая именно температура должна быть отмѣчена въ томъ мѣстѣ гдѣ остановилась ртуть узнать, справив-



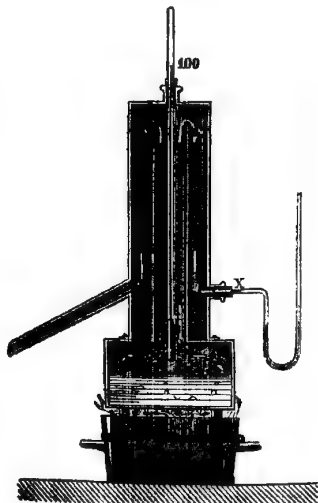
Фиг. 203.

шисъ въ таблицахъ гдѣ указаны, на основаніи точныхъ опытовъ, температуры кипѣнія соответствующихъ разнымъ давленіямъ.

Чтобы наблюдать истинную температуру пара и избѣгнуть его охлажденія, снарядъ (фиг. 204) устраивается съ двойными стѣнками *): паръ подымается во внутреннемъ каналѣ, потомъ опускается между двойными стѣнками и чрезъ о выходитъ наружу.

Опредѣливъ точку нуля и точку соответствующую кипѣнію при известномъ давленіи, пространство между этими постоянными точками дѣлать на столько равныхъ частей сколько указывается температурою кипѣнія (на 100 если кипѣніе происходитъ при 760 милл.). Каждая такая часть есть градусъ термометра. Градусы эти отмѣчаются или на самой трубкѣ термометра или на особой линейкѣ, къ ней присоединенной. Раздѣленіе облегчается предварительно сдѣланными мелкими раздѣленіями трубки на равныя части.

Еслибы трубка была внутри строго цилиндрическая, то ея части равной длины были бы и частями равнаго объема. Но обыкновенно трубки болѣе или менѣе отступаютъ отъ цилиндрической формы; потому, чтобы произвести раздѣленіе трубки на части равнаго объема, ее калибруютъ. Для этого вводятъ въ нее малую колонну ртути (фиг. 205) и отмѣчаютъ положеніе ея крайнихъ точекъ *e* и *d*; затѣмъ перемѣщаютъ ее такъ что конецъ прежде находившейся въ *e* перейдетъ въ *d* и отмѣчаютъ новое положеніе *c* второго



Фиг. 204.



Фиг. 205.

*) Прибавленная къ снаряду двухколенная трубка со ртутью (манометръ) служить для доказательства весьма важнаго въ ученіи о парѣ положенія. Когда вода кипитъ, паръ ея вытѣсняетъ мало-по-малу воздухъ изъ снаряда и ртуть манометра въ каналъ, соединенномъ съ снарядомъ, испытываетъ давленіе

конца и т. д. Чтобы заставить ртутный столбикъ передвигаться внутри трубки, конецъ ея вставляется въ каучуковую трубку и ртомъ втягиваютъ или вдуваютъ слегка воздухъ. Части *ab*, *bc*, *cd*... по длинѣ неравныя между собою, очевидно, соответствуютъ равнымъ объемамъ. Для болѣе мелкихъ подраздѣленій, каждую изъ нихъ разбиваютъ еще на нѣсколько равныхъ частей уже просто по длинѣ, такъ какъ на небольшомъ протяженіи трубку можно съ достаточною точностію считать цилиндрическою. Давленія отмѣчаютъ или на присоединенной къ трубкѣ линейкѣ, или на самой трубкѣ, покрывъ ее такъ-называемымъ лакомъ гравировъ. Затѣмъ плавиковою кислотой, не дѣйствующей на этотъ лакъ, выравляютъ слегка стекло въ тѣхъ мѣстахъ гдѣ сдѣланы отмѣтки и лакъ снять. Лакъ въ свою очередь смываютъ терпентиномъ, въ которомъ онъ растворяется.

Когда термометръ назначается для температуръ ниже 100, то его размѣчаютъ по сравненіи съ образцовымъ термометромъ.

§ 152. Какъ происходитъ нагреваніе и охлажденіе термометра. Термометръ нагревается или охлаждается дѣйствіемъ окружающихъ тѣлъ: 1) при непосредственномъ прикосновеніи, когда онъ, напримѣръ, погруженъ въ жидкость или приложенъ къ твердому тѣлу; 2) находясь на разстояніи отъ нагрѣтаго или холоднаго тѣла, когда между нимъ и этимъ тѣломъ пустота или газообразное тѣло, или вообще среда не препятствующая такому дѣйствію (лучистое распространеніе тепла).

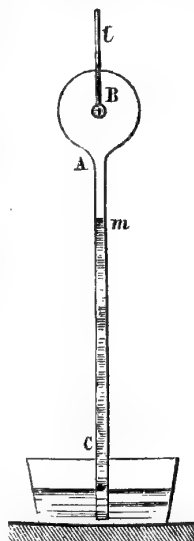
Что теплота можетъ сообщаться на разстояніи чрезъ пустоту, о томъ свидѣтельствуетъ слѣдующій, опытъ Румфорда *) Искусный мастеръ укрѣпилъ прочно сферическій резервуаръ ртутнаго термометра въ центрѣ стекляннаго баллона, который и былъ наполненъ ртутью помощію длинной бароме-

со стороны наполняющаго его пара, тогда какъ чрезъ открытое колѣно давить атмосфера. Опытъ показываетъ что ртуть въ обоихъ колѣнахъ стоитъ на равной высотѣ. Заключаемъ что упругость пара, доставляемаго водою при температурѣ кипѣнія, равняется атмосферному давленію.

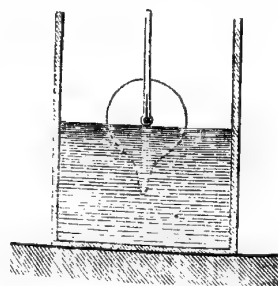
*) Румфордъ родился въ Сѣверной Америкѣ въ 1752 г. отъ небогатыхъ родителей; рано вступилъ въ практическую жизнь, чрезъ женитбу получивъ значительное состояніе. Въ войнѣ между Америкой и Англіей былъ на сторонѣ Англіи и 1776 года прибылъ въ Лондонъ. Чрезъ нѣсколько лѣтъ поселился въ Мюнхенѣ, гдѣ неутомимо занимался учеными изслѣдованіями особен-

трической трубки (фиг. 206) къ нему припаянной. По наполненіи, снарядъ опрокидывался, какъ въ опытѣ Торичелли, открытымъ концомъ въ ртуть баллономъ къ верху. Снарядъ «становился тогда барометромъ, и ртуть опускалась въ баллонъ и верхней части трубки до высоты 28 дюймовъ». Въ баллонѣ образовалась пустота. Направивъ пальною трубкою пламя на шейку барометрической трубки, около мѣста соединенія ея съ баллономъ, можно было отдѣлить баллонъ отъ трубки не впуская воздуха (атмосферное давленіе сблизить до прикосновения размягченныя огнемъ стѣнки трубки п мѣсто отдѣленія запаяется). Такой пустой баллонъ съ термометромъ внутри (фиг. 207) опускался въ сосудъ съ водою при 18° Р. «Убѣдившись, говоритъ Румфордъ, что термометръ внутри пустого баллона показываетъ 18°, я вынулъ инструментъ и погрузилъ его въ сосудъ съ кипящею водою. Ртуть въ термометрѣ поднялась, доказывая что теплота горячей воды *черезъ пустоту* достигала шарика термометра». Такъ какъ термометръ былъ припаянъ къ стѣнкѣ баллона, то можно было возразить, что теплота сообщается резервуару термометра чрезъ его трубку отъ стѣнки баллона. Но можно оставить это мѣсто не погруженнымъ (фиг. 207) и даже нѣсколько охладить безъ измѣненія результата. Наконецъ, «чтобъ отвратить всякое сомнѣніе, прибавляетъ Румфордъ, я нашелъ средство повторить опытъ съ термометромъ, привѣшеннымъ внутри баллона помощію одной только шелковой нити».

Что тѣла дѣйствуютъ на термометръ не только чрезъ пустоту, но и чрезъ воздухъ, о томъ свидѣлствуетъ, напри-
мѣръ, слѣдующій опытъ. Ставъ съ термометромъ предъ оча-
гомъ, мы увидимъ что ртуть по-



Фиг. 206.



Фиг. 207.

но о явленіяхъ теплоты, направляя труды преимущественно къ приложеніямъ науки и филантропическимъ предпріятіямъ. Здѣсь получалъ титулъ графа. По возвращеніи въ Лондонъ основалъ знаменитый Королевскій Институтъ (Royal Institution). Умеръ въ 1814 году.

дымается и ошутимъ жаръ, хотя бы окружающій насъ воздухъ былъ холоденъ; слѣдовательно теплота очага можетъ сообщаться термометру и намъ, проходя чрезъ воздухъ, остающійся холоднымъ. Загородивъ очагъ непрозрачнымъ препятствіемъ, замѣтимъ что термометръ тотчасъ опустится и перестанемъ ощущать жаръ, а почувствуемъ холодъ прикасающагося къ намъ воздуха. Тѣла, какъ воздухъ, чрезъ которыя теплота проходитъ такъ какъ проходитъ чрезъ пустоту, называются *теплопрозрачными*.

§ 153. Какъ происходитъ вообще сообщеніе тепла. Не только въ случаѣ термометра, но и вообще сообщеніе тепла происходитъ: 1) чрезъ прикосновеніе, когда теплое тѣло касается другаго менѣе теплаго, или когда въ одномъ тѣлѣ одна часть теплѣе прилегающихъ, 2) дѣйствіемъ на разстояніи, если между нагрѣтымъ тѣломъ и тѣломъ, получающимъ теплоту, находится пропускающая теплоту (теплопрозрачная) среда.

Для объясненія распространенія теплоты и свѣта чрезъ пустоту допускаютъ что безвоздушное пространство и также пространство междузвѣздное не представляютъ собою пустоты въ абсолютномъ смыслѣ, а наполнены тонкимъ веществомъ, *эфиромъ*, при посредствѣ котораго и распространяются тепловые и свѣтовые дѣйствія. Эфиръ наполняетъ промежутки между частицами твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлъ. Тѣ тѣла, частицы которыхъ не поглощаютъ теплоты распространяющейся чрезъ наполняющій ихъ промежутокъ эфиръ, суть тѣла *теплопрозрачныя*. Вполнѣ теплопрозрачныхъ тѣлъ нѣтъ, всѣ болѣе или менѣе поглощаютъ проходящую теплоту. Къ наиболее теплопрозрачнымъ принадлежатъ газы, изъ твердыхъ же тѣлъ каменная соль, а изъ жидкихъ сѣрный углеродъ. Стекло пропускаетъ довольно много теплоты если она идетъ отъ сильно раскаленнаго тѣла, но задержива-

еть идущую отъ тѣла не очень высокой температуры.

§ 154. Сообщение теплоты въ твердыхъ тѣлахъ, распространение вслѣдствіе теплопроводности. Когда теплота сообщается чрезъ прикосновение одного твердаго тѣла къ другому или переходитъ въ тѣлѣ отъ его нагрѣтой части къ сосѣднимъ менѣе нагрѣтымъ, то говорятъ что тѣла эти *проводятъ* теплоту, и способность ихъ переносить теплоту въ большей или меньшей степени называется *теплопроводностію*. Если слой даннаго вещества, находящійся въ одинакихъ условіяхъ съ слоемъ той же толщины другаго вещества, передаетъ чрезъ себя болѣе теплоты чѣмъ этотъ второй слой, то теплопроводность перваго вещества болѣе теплопроводности втораго. Также если палочка даннаго вещества, будучи на одномъ концѣ поддерживаема при извѣстной температурѣ, нагрѣвается на дальнѣйшее разстояніе чѣмъ палочка другаго вещества, то заключаемъ что первая лучше проводитъ теплоту чѣмъ вторая. Наилучшіе проводники суть металлы. Возьмемъ въ руку два прута, одинъ желѣзный, другой деревянный, и станемъ нагрѣвать ихъ концы, напримѣръ, на пламени свѣчи. Въ желѣзномъ прутѣ теплота отъ нагрѣтаго конца распространится вдоль прута, рука ощутитъ теплоту, и если прутъ не длиненъ, а нагрѣваніе сильно, то окажется невозможнымъ удержать его въ рукѣ. Въ деревянномъ прутѣ нагрѣваніе распространится на незначительное разстояніе отъ нагрѣваемаго мѣста, и хотя прутъ, по мѣрѣ сгорания, будетъ становиться короче и короче, мы можемъ держать его въ рукѣ почти до полного сгорания, не чувствуя замѣтнаго нагрѣванія. Деревянные и костяные ручки у металлическихъ чайниковъ и у самоваровъ позволяютъ переносить ихъ, не обжигаясь. Можно, держа въ рукѣ конецъ стеклянной палочки, раскалить и расплавить ее на другомъ

ея концѣ; запечатывая письмо, расплавляемъ сургучъ на концѣ, не ощущая замѣтной теплоты въ рукѣ держащей палочку. Свѣча сгораетъ постепенно, не растаивая, что не было бы возможно еслибы вещество ея имѣло такую теплопроводность какъ, напримѣръ, металлъ. Дерево, кость, стекло, сургучъ, стеаринъ суть дурные проводники тепла. Слѣдующій опытъ рѣзко указываетъ разницу въ теплопроводности металла и дерева. Возьмемъ металлическій шаръ и прикроемъ его носовымъ платкомъ такъ чтобы платокъ плотно прилегалъ къ поверхности шара. На платокъ можно положить раскаленный уголь и платокъ не прогоритъ, такъ какъ теплота отъ мѣста прикосновения угля тотчасъ уведется металломъ, и мѣсто это быстро охладится. Но если платокъ прикрываетъ собою деревянный шаръ, то онъ прогоритъ, ибо дерево уведетъ не большую лишь часть теплоты.

Когда мы прикасаемся къ тѣлу, температура котораго неодинакова съ температурою нашей кожи, то испытываемое нами ощущеніе зависитъ отъ теплопроводности этого тѣла. Металлъ кажется намъ при обыкновенной комнатной температурѣ холоднѣе дерева, хотя термометръ показываетъ что температура ихъ одинакова. Это происходитъ отъ того что металлъ какъ хорошій проводникъ немедленно уводитъ теплоту кожи, и мы чувствуемъ охлажденіе, тогда какъ, прикасаясь къ дереву, кожа сохраняетъ свою теплоту.

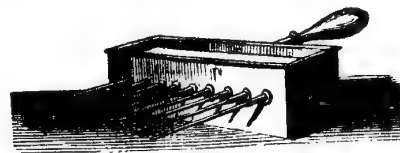
Опытъ показываетъ что въ тѣлахъ волокнистаго и порошкообразнаго строенія, гдѣ теплота, чтобы перейти отъ волокна къ волокну, отъ поропинки къ поропинкѣ, передается чрезъ раздѣляющій ихъ слой воздуха, тепло распространяется медленно (аналогія съ тѣлами глушащими звукъ), и такіа тѣла суть дурные проводники. Отсюда употребленіе ваты, шерсти, мѣха для охраненія тѣла отъ охлажденія.

Чтобы яснѣ представить различіе между распространеніемъ тепла путемъ проводимости въ твердыхъ тѣлахъ и распространеніемъ ея чрезъ теплопрозрачныя среды, укажемъ что теплота въ первомъ случаѣ передается отъ одного слоя къ слѣдующему вслѣдствіе *разности* ихъ температуры, въ случаѣ же теплопрозрачнаго тѣла (напримѣръ воздуха или каменной соли) передача идетъ отъ слоя къ слою *равной* температуры, независимой отъ температуры нагревающего и нагреваемого тѣлъ. Передача дѣйствія происходитъ собственно чрезъ эфиръ. Особенность теплопрозрачныхъ тѣлъ сравнительно съ другими въ томъ что частицамъ ихъ не сообщается дѣйствіе передаваемое эфиромъ. Прибавимъ что каменная соль какъ твердое тѣло можетъ передавать тепло не только въ качествѣ теплопрозрачнаго тѣла, но и чрезъ проводимость.

§ 155. Метода Франклина и Ингенгуса для сравненія теплопроводности металловъ. Чтобы болѣе или менѣе точно сравнивать *теплопроводность* тѣлъ, членъ Лондонскаго Королевскаго Общества, врачъ Ингенгусъ (въ 1780 г.) воспользовался методомъ, указаннымъ ему Франклиномъ. *) „Снарядъ, говоритъ Ингенгусъ, со-

*) Франклинъ родился въ Бостонѣ, въ Сѣверной Америкѣ, въ 1706 году въ бѣдномъ семействѣ; въ юности былъ типографщикомъ, не получилъ правильнаго школьнаго образованія и образованіе Плутарха и трактатъ автора *Робинзона*, Де-Фое, о проектахъ различныхъ улучшеній въ экономическомъ и социальномъ бытѣ народа). Какъ народный писатель и общественный дѣятель, приобрѣлъ уваженіе согражданъ и отправлялъ многія общественныя должности; своими учеными изслѣдованіями въ особенностяхъ электричества, — свидѣтельствующими какъ помощью простѣйшихъ средствъ могутъ быть достигаемы очень важныя результаты, — и открытіемъ тождества молніи и электрической искры (громоотводы) приобрѣлъ мѣсто въ ряду первыхъ ученыхъ своего времени. Въ 1757—1762 году былъ въ Лондонѣ какъ полномоченный отъ своихъ согражданъ и ревностно защищалъ интересы колоній. Во время вспыхнувшей войны Америки съ Англіею былъ въ 1776 г. представителемъ своего отечества во Франціи. Последние годы провелъ на родинѣ; скончался 1790 году на восьмидесять пятимъ году жизни. Труды Франклина какъ ученаго, писателя и моралиста, по доступности и простотѣ изложенія, поставили его въ число популярнѣйшихъ писателей своего времени.

стоялъ изъ семи проволокъ, каждая изъ особаго металла, но всѣ протянутыя чрезъ то же отверстіе и слѣдовательно равной толщины, около $\frac{1}{12}$ парижскаго дюйма. Эти семь металлическихъ проволокъ я закрутилъ въ разстояніи дюйма одна отъ другой между двумя деревянными перекладками, такъ что ихъ длина отъ перекладки до конца была одинакова. Я растопилъ бѣлый воскъ въ глиняномъ сосудѣ съ равными краями. Въ этотъ растопленный воскъ погрузилъ весь рядъ проволокъ, положивъ концы державшихъ ихъ перекладокъ на край горшка. Когда вынулъ, на каждой проволоцѣ остался слой воска, по охлажденіи сдѣлавшійся очень явственнымъ. Тогда въ другомъ горшкѣ я нагрѣлъ масло до высокой степени, не доводя лишь до кипѣнія, и погрузилъ въ него концы проволокъ, всѣ до одинаковой глубины. Слой воска растопился на каждой изъ проволокъ, но не на одинаковой длинѣ; въ проволоцѣ которой теплопроводность больше, — нагреваніе, до степени достаточной для расплавленія воска, — распространялось дальше чѣмъ въ имѣющей меньшую теплопроводность. Сравнивая эти длины можно было заключить о сравнительной теплопроводности металловъ. Оказалось что серебро лучший проводникъ, за нимъ слѣдуютъ мѣдь, золото, олово, желѣзо, сталь и свинецъ. Фиг. 208 изображаетъ снарядъ Ингенгуса въ нѣсколько измѣненной формѣ для лекціоннаго употребленія. Покрытыя воскомъ палочки разныхъ веществъ вставлены концами въ сосудъ наполненный разогрѣтою жидкостью.

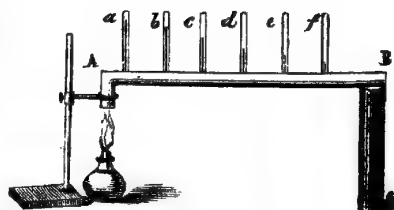


Фиг. 208.

Болѣе точный способъ изслѣдованія теплопроводности металловъ состоитъ въ изученіи движенія теплоты въ цилиндрическомъ или призматическомъ прутѣ, одинъ конецъ котораго поддер-

живается при постоянно высокой температурѣ (фиг. 209).

Явление складается из двух периодов: въ первомъ лежащая къ концу *A* части постепенно нагревается, такъ что ртуть въ термометрахъ *a, b, c...* вставленныхъ въ углубленія сдѣланныя въ полосѣ, постепенно повышается; во второмъ, наступающемъ чрезъ довольно продолжительное время, устанавливается постоян-



Фиг. 209.

ное распределение температуръ, и термометры останавливаются каждый на определенной высотѣ, причемъ показываемыя ими температуры понижаются послѣдовательно отъ конца *A* къ концу *B*. Такое распределение температуръ остается неизмѣннымъ неопредѣленное время, если конецъ *A* нагревается одинаковымъ образомъ и температура окружающей среды не мѣняется: каждый слой полосы въ данное время столько же принимаетъ теплоты, сколько ея отдаетъ: происходитъ движеніе и обмѣнъ теплоты безъ измѣненія температуры. Румфордъ, производя подобный опытъ и поддерживая конецъ *A* при температурѣ 100°, а конецъ *B* при 0°, думалъ найти въ срединѣ полосы среднюю температуру 50°; но опытъ не оправдалъ этого ожиданія: температуры возрастаютъ отъ конца *B* къ концу *A* не пропорціонально разстоянію отъ конца *B*, а слѣдуютъ менѣе простому закону.

§ 156. Охлаждающее дѣйствіе металлической сѣтки на пламя; лампа Деви. Если надъ пламенемъ газа или свѣчи держать металлическую сѣтку, то вслѣдствіе сообщенія тепла проволокамъ сѣтки и быстро ея въ нихъ распространенія, газообразное горящее вещество охлаждается въ такой мѣрѣ что тухнетъ, проходя чрезъ сѣтку, и выше ея идетъ уже невидимымъ потокомъ (фиг. 210). Если, пустивъ газъ, зажечь его выше сѣтки, то пламя образуется поверхъ ея (фиг. 211),

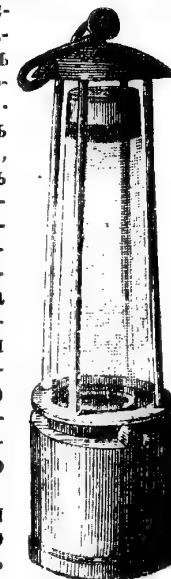


Фиг. 210.



Фиг. 211.

а внизу ея остается темное пространство отъ сѣтки до отверстія. Англійскій ученый Деви *), основываясь на этихъ опытахъ, устроилъ такъ-называемую *предохранительную лампу* для работниковъ въ каменно-угольныхъ копяхъ. Въ этихъ копяхъ нерѣдко скопается водоуглеродный газъ который, будучи смѣшанъ въ определенномъ количествѣ съ воздухомъ и воспламененъ, даетъ сильный взрывъ, гибельный для работающихъ. Чтобы сдѣлать лампы, при свѣтѣ которыхъ производятся работы, неспособными воспламенить вредный газъ, Деви предложилъ окружать ихъ пламя цилиндромъ изъ металлической сѣтки (фиг. 212). Если внутри такой лампы газъ и воспламенится, то пламя его, едва видимое, не проникнетъ чрезъ сѣтку, и взрыва не послѣдуетъ. Бывали, впрочемъ, случаи что, по причинѣ порчи сѣтки или отъ сильнаго толчка, пламя проходило и производило взрывъ. Потому рекомендуютъ обращать вниманіе на лампу, и когда она начнетъ тускнѣть, свидѣтельствуя о скопленіи вреднаго газа, то поспѣшить удалиться.



Фиг. 212.

§ 157 Распространеніе солнечной теплоты въ земной корѣ; собственная теплота земнаго шара. Законы теплопроводности въ твердыхъ тѣлахъ, открытые знаменитымъ французскимъ математикомъ начала нынѣшняго столѣтія, Фурье, были приложены имъ къ разрѣшенію вопроса о движеніи въ толщѣ земной коры солнечной теплоты, нагревающей земную поверхность. Земную кору въ данномъ мѣстѣ можно разсматривать какъ слой проводящаго вещества, верхняя поверхность котораго периодически нагревается и охлаждается, достигая (въ годовой періодъ) наибольшей температуры лѣтомъ, наименьшей зимою. Вслѣдствіе теплопроводности, нагреваніе и

*) Гумери Деви, знаменитый англійскій химикъ открывшій путемъ электро-химическаго разложенія металлы потасій, натрій и другіе, родился въ 1778 году. Начавъ поприще въ качествѣ аптекарскаго ученика, успѣлъ самоучкою приобрести обширныя познанія въ наукахъ и языкахъ. Статьи его въ одномъ ученномъ журналѣ обратили вниманіе на молодого химика, и по рекомендаціи Румфорда онъ поступилъ профессоромъ въ Лондонскій Королевскій Институтъ. Это былъ первый важный шагъ на блестящемъ ученномъ поприщѣ Деви. Въ теченіи двадцати пяти лѣтъ онъ былъ украшеніемъ Лондонскаго Королевскаго Общества; умеръ въ 1829 году.

охлаждение верхняго слоя сообщается постепенно болѣе глубокимъ слоямъ, и происходитъ движеніе теплоты. Теоретическія изслѣдованія Фурье *) показываютъ: 1) что въ каждомъ слое измѣненія температуры происходятъ также періодически, но разность между наибольшею и наименьшею температурами становится тѣмъ менѣе чѣмъ глубже разсматриваемый слой, такъ что на нѣкоторой глубинѣ разность эта равняется нулю, и температура круглый годъ и цѣлыя годы остается постоянною, равною средней температурѣ мѣста. Наблюденія, идущія еще съ конца XVII вѣка, подтверждаютъ это положеніе теоріи. Въ погребахъ Парижской Обсерваторіи, на глубинѣ 27 метровъ, съ 1783 года поставленъ весьма чувствительный ртутный термометръ, впродолженіе почти столѣтія показывающій неизмѣнную температуру $11^{\circ},8$. Уже на глубинѣ 8 метровъ въ Брюсселѣ, по наблюденіямъ Кетле, разность между наибольшею и наименьшею температурой менѣе полутора градуса. Близъ экватора, гдѣ лѣтнія и зимнія температуры мало разнятся между собою, слой неизмѣняемой температуры находится близко къ поверхности, и на глубинѣ фута температура въ теченіе мѣсяцевъ измѣняется едва на нѣсколько десятыхъ долей градуса. 2) Наступленіе высшей, низшей и средней температуръ происходитъ одновременно въ слояхъ лежащихъ на разной глубинѣ. Въ верхнемъ слое наибольшая температура наступаетъ (въ Брюсселѣ) въ іюль мѣсяцѣ, на глубинѣ метра она наступаетъ лишь

*) Фурье родился въ 1768 году и былъ сынъ портнаго; по протекціи одного епископа поступилъ въ военную школу управлявшуюся бенедиктинскими монахами и сдѣлалъ быстрые успѣхи, особенно въ литературѣ. Въ 1789 г. былъ сдѣланъ преподавателемъ математики въ школѣ и въ случаѣ болѣзни товарищей замѣнялъ преподавателей реторики, исторіи, философіи. Въ концѣ того же года представилъ въ Парижскую Академію Наукъ замѣчательный мемуаръ о разрѣшеніи уравненій всѣхъ степеней. Когда въ эпоху революціоннаго разгрома школъ во Франціи, учреждена была, съ цѣлью образованія учителей, Нормальная Школа, куда по выбору были посланы изъ разныхъ частей Франціи 500 учениковъ, въ число выбранныхъ попалъ и Фурье, скоро сдѣлавшійся самъ преподавателемъ въ Школѣ. Затѣмъ онъ былъ профессоромъ Политехнической Школы, членомъ Института и сопровождалъ Бонапарта въ египетской экспедиціи. Съ 1802 до 1815 г. онъ былъ префектомъ Изерскаго и потомъ Ронскаго департаментовъ, не оставляя научныхъ трудовъ и среди политическихъ тревогъ. Въ 1817 году, послѣ востановленія Парижской Академіи Наукъ, вступилъ въ число ея членовъ. Умеръ въ 1830 году.

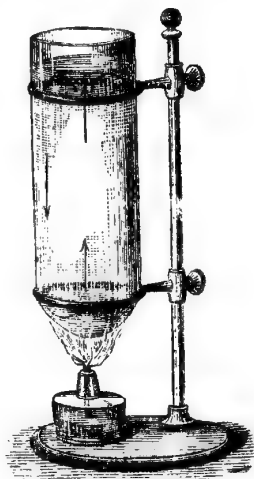
въ сентябрѣ, на глубинѣ четырехъ метровъ въ октябрѣ, на глубинѣ восьми метровъ въ декабрѣ, когда на верху наименьшая температура. Такимъ образомъ на глубинѣ 8 метровъ времена года перемищаются, и когда на верху зима, на глубинѣ 8 метровъ только что наступила наибольшая температура, и тамъ, можно сказать, лѣто.

Еслибы вся теплота находящаяся внутри земли была результатомъ нагревающаго дѣйствія солнца, продолжавшагося въ теченіе многихъ тысячелѣтій, то согласно изслѣдованіямъ Фурье, мы должны бы ниже слоя неизмѣняемой температуры на протяженіи нѣсколькихъ верстъ (значительно ниже чѣмъ насколько можемъ спуститься на практикѣ) встрѣчать ту же постоянную температуру какъ въ самомъ неизмѣняемомъ слое, и только еслибы могли проникнуть на очень значительную глубину, то въ полярныхъ странахъ встрѣтили бы нѣкоторое пониженіе, въ экваторіальныхъ же повышение температуры (происходящее отъ того что солнцемъ нагревается преимущественно экваторіальный поясъ и теплота, проникающая въ толщу земли у экватора, теряется у полюсовъ). Между тѣмъ наблюденія даютъ совсѣмъ иной результатъ. Гдѣ бы мы ни рылись на земномъ шарѣ, всюду находимъ что температура ниже неизмѣннаго слоя быстро возрастаетъ, приблизительно на каждые 30 или 40 метровъ углубленія на 1° , какъ свидѣтельствуя особенно наблюденія въ рудникахъ и въ отверстіяхъ артезианскихъ колодезевъ. Такъ, по наблюденіямъ въ англійскихъ рудникахъ на глубинѣ 150 метровъ, встрѣчается неизмѣняемая температура около 20° , на глубинѣ 400 метровъ около 25° , при средней температурѣ на поверхности отъ 9 до 10° . Подобныя наблюденія произведенныя на многихъ мѣстахъ земнаго шара доказываютъ что земля, кромѣ теплоты получаемой отъ солнца, имѣетъ собственную внутреннюю теплоту. Согласно ученію Фурье, эта теплота есть остатокъ первобытной теплоты земнаго шара, бывшаго нѣкогда въ расплавленномъ состояніи и притерпѣвающаго чрезъ вѣка и тысячелѣтія медленное постепенное охлажденіе. Внутренность земли и нынѣ имѣетъ весьма высокую температуру и находится, вбро- ажно, въ расплавленномъ состояніи; тогда какъ кора уже охладилась и всѣ термическія явленія въ ней зависятъ отъ солнца. Въ толщѣ земли на глубинѣ незначительной, сравнительно съ ея размѣрами, находятся цѣлыя моря расплавленнаго вещества, отъ которыхъ зависятъ изверженія огнедышащихъ горъ.

§ 158. Нагрѣваніе жидкостей. Распространеніе теплоты въ жидкостяхъ происходитъ главнымъ образомъ не вслѣдствіе теплопроводности какъ въ твердыхъ тѣлахъ, а путемъ переноса теплоты вслѣдствіе

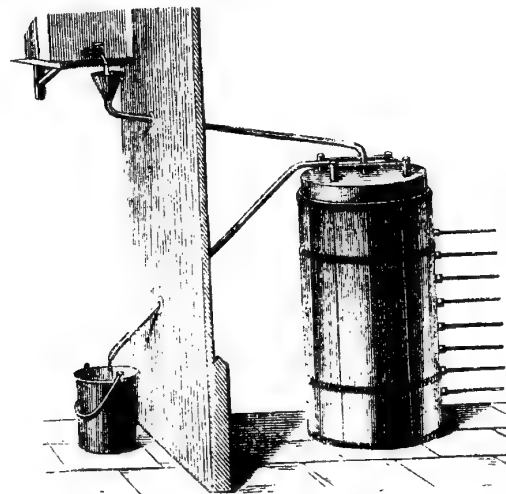
смѣшенія слоевъ жидкости, происходящаго отъ того что нагрѣтыя части, какъ менѣе плотныя, поднимаются вверхъ, а холодныя падаютъ,—какъ вообще бываетъ при смѣшеніи жидкостей разной плотности. Такъ, если нагрѣвать снизу воду въ стеклянномъ сосудѣ (фиг. 213), то въ срединѣ явственно образуются восходящіе потоки теплой воды, а при стѣнкахъ нисходящіе холодной; тѣ и другіе особенно легко замѣтить, если въ жидкости взвѣшены мелкія тѣла, увлекаемые движеніемъ. Если смѣшеніе жидкихъ слоевъ затруднено вслѣдствіе того что частицы встрѣчаютъ препятствіе для свободнаго передвиженія, то переносъ теплоты совершается очень медленно, и, по причинѣ дурной собственной проводимости жидкости, масса внутри себя долго сохраняетъ теплоту, когда наружныя слои уже совсѣмъ охладилась. Такъ бываетъ въ случаѣ густыхъ полужидкихъ тѣлъ, напримѣръ мармелада, рисовой или манной кашицы и т. под. Можно добечься, черпнувъ ложкою на нѣкоторой глубинѣ въ такой массѣ, хотя бы сверху она совсѣмъ охладѣла. Этотъ фактъ навелъ Румфорда на изученіе распространенія тепла въ жидкостяхъ, приведшее его къ заключенію что жидкости собственной проводимости вовсе не имѣютъ. Послѣдующія изслѣдованія показали что такое заключеніе несправедливо, и жидкости имѣютъ собственную, хотя и слабую, теплопроводность.

Одинъ изъ замѣчательнѣйшихъ опытовъ, служащихъ къ подтвержденію этого положенія есть слѣдующій опытъ француз-



Фиг. 213.

скаго ученаго Дебре*), изображенный на фиг. 214. Въ деревянную кадку налита вода и вставленъ рядъ термометровъ помѣщенныхъ на разныхъ глубинахъ. Вода нагрѣвается *сверху*



Фиг. 214.

дѣйствіемъ погруженнаго въ верхніе ея слои металлическаго сосуда наполняемаго постоянно смѣняющеюся горячею водою, протекающею изъ верхняго резервуара и утекающею въ ведро поставленное внизу. Такъ какъ нагрѣваніе происходитъ сверху, то смѣшеніе слоевъ невозможно и верхніе слои какъ болѣе нагрѣтые и слѣдовательно болѣе легкіе, остаются на своемъ мѣстѣ, не опускаясь внизъ. Тѣмъ не менѣе термометры показываютъ нѣкоторое повышеніе температуры, свидѣтельствуя о распространеніи теплоты сверху внизъ. Такъ какъ дерево дурной проводникъ и кадка имѣла довольно широкіе размѣры, то передачу теплоты, распределяющейся весьма правильно, нельзя объяснить передачею черезъ стѣнки.

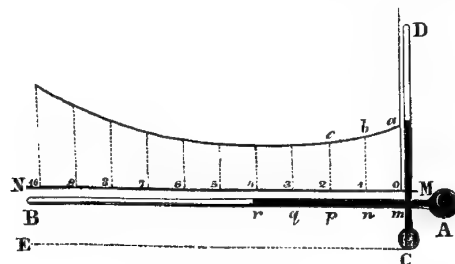
Переносъ теплоты и смѣшеніе слоевъ въ водѣ при температурахъ близкихъ къ 0° осложняется особенностію этого тѣла, состоящею въ томъ что вода при нагрѣваніи выше 0° не расширяется, какъ бы можно было ожидать по аналогіи съ другими тѣлами, а какъ увидимъ въ слѣдующемъ параграфѣ, сжимается до нѣкотораго предѣла, и начинается расширяться лишь перейдя чрезъ него.

§ 159. Наибольшая плотность воды. Возьмемъ два

*) Членъ Парижской Академіи Наукъ, профессоръ въ Сорбоннѣ, умершій нѣсколько лѣтъ тому назадъ.

термометра, одинъ наполненный ртутью, а другой водой и сравнимъ ихъ показанія при постепенномъ нагреваніи, начиная отъ температуры 0° . Найдемъ, что въ то время какъ ртутная колонна будетъ повышаться, колонна воды станетъ постепенно *понижаться*, и явленіе будетъ продолжаться такъ приблизительно до 4° . Послѣ же 4° столбъ воды, при продолжающемся нагреваніи, будетъ повышаться подобно тому какъ повышается ртутная колонна. Этотъ опытъ свидѣлствуетъ что вода при нагреваніи отъ 0° до $+4^{\circ}$ *сжимается*, и имѣетъ около $+4^{\circ}$ наибольшую плотность.

Фиг. 215 даетъ наглядное представленіе о расширеніи воды въ стеклянномъ резервуарѣ при разныхъ температурахъ. АВ



Фиг. 215.

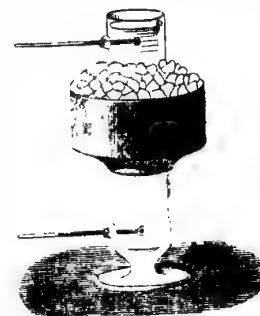
есть ртутный термометръ, въ которомъ ртуть при 0° , 1° , 2° ... останавливается при точкахъ m , n , p ... DC есть водяной термометръ; a° , b° , c° ... высоты водяной колонны поверхъ линіи NM при 0° , 1° , 2° и т. д. Кривая abc изображаетъ законъ расширенія воды. Ее описала бы вершина водяной колонны, еслибы водяной термометръ перемѣщался параллельно себѣ, опираясь на линію CE, и пріобрѣтать переходя*послѣдовательно къ точкамъ m , n , p ... температуры 0° , 1° , 2° ... Видимъ что наименьшій объемъ, а слѣдовательно наибольшая плотность воды соответствуетъ приблизительно 4° .

При точномъ измѣреніи объема и плотности воды при разныхъ температурахъ, по термометрическому способу, не должно упускать изъ виду расширеніе стекляннаго резервуара.

Согласно изслѣдованіямъ Дебре, 10 литровъ воды или 10000 куб. сантиметровъ занимаютъ объемъ:

при 0° . . .	10001,27	куб. цент.	имѣя плотность	0,999873
4° . . .	10000,00			1,000000
8° . . .	10001,22			0,999878
20° . . .	10017,90			0,998213

Слѣдующій опытъ объясняется именно тѣмъ обстоятельствомъ, что вода наибольшую плотность имѣетъ не при самой низкой температурѣ, какую можетъ имѣть. Фиг. 216 предста- вляетъ стеклянный цилиндръ, снабжен- ный двумя термометрами и около сре- дины обложенный охлаждающею смѣсью (ледъ или снѣгъ въ смѣшеніи съ поваренною солью или хлористымъ каль- ціемъ). Допустимъ что первоначально вода влита въ цилиндръ при обыкновен- ной комнатной температурѣ. По мѣрѣ охлажденія, ртуть въ термометрахъ ста- нетъ опускаться, но въ началѣ быстро понижается нижній термометръ, тогда какъ верхній падаетъ медленно. Такъ продолжается пока внизу температура сбѣлается $+4^{\circ}$. Затѣмъ быстрее пойдеть пониженіе верхняго, продолжаю- щееся до температуры 0° , тогда какъ охлажденіе нижняго будетъ происходить весьма медленно. Явле- ніе объясняется тѣмъ что, въ началѣ опыта, охлажденные въ срединѣ сосуда частички, дѣлаясь плотнѣе, падаютъ внизъ, за- ставляя нижнія подниматься къверху. Такъ продолжается пока вода достигнетъ 4° . Затѣмъ частички охлаждающіяся въ сре- динѣ сосуда ниже 4° , уже не падаютъ внизъ, а мало-по-малу, поднимаются вверхъ, такъ какъ имѣютъ надъ собою менѣе охлажденные, но болѣе плотные слои.



Фиг. 216.

§ 160. Нагреваніе газообразныхъ тѣлъ. Нагреваніе газа происходитъ отчасти отъ поглощенія проходящей черезъ него теплоты, отчасти отъ переноса теплоты вслѣдствіе смѣшенія неодинаково нагрѣтыхъ слоевъ. *) Въ частности нагреваніе воздуха въ данномъ мѣстѣ, въ случаѣ безвѣтрія, зависитъ: 1) отъ поглощенія про- ходящихъ черезъ него солнечныхъ лучей теплоты; 2) отъ поглощенія лучей теплоты, идущихъ отъ нагрѣтой солнцемъ почвы; 3) отъ прикосновенія съ нагрѣтой поч- вой: образующееся, отъ нагреванія снизу, смѣшеніе вос- ходящихъ и нисходящихъ слоевъ разноситъ теплоту,

*: Есть опыты свидѣтельствующіе что газы, особенно водо- родъ, имѣютъ отчасти и собственную теплопроводность. Но во- просъ этотъ нельзя считать рѣшеннымъ.

приобретенную прикосновением. Когда воздух проходит надъ данною мѣстностью потокомъ, образуя *ветеръ*, то температура его опредѣляется главнымъ образомъ тѣмъ изъ какихъ мѣстностей, теплыхъ или холодныхъ, онъ приходитъ. Показанія температуры при различныхъ вѣтрахъ бываютъ различны, и вѣтрами главнымъ образомъ обуславливается погода.

§ 161. Температура воздуха на разныхъ мѣстахъ земнаго шара. Температура воздуха опредѣляется помощью термометра, помѣщенного въ тѣни (на сѣверной, обыкновенно, сторонѣ зданій) въ нѣкоторомъ удаленіи отъ предметовъ, которые приобретаая температуру, отличную отъ температуры воздуха, могли бы чрезъ лучеиспусканіе вліять на термометръ. Термометръ выставленный на солнце показываетъ температуру значительно выше чѣмъ въ тѣни и нагрѣвается не только отъ прикасающихся къ нему частицъ воздуха, но и прямымъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей. Если въ теченіе сутокъ будемъ ежечасно записывать показанія термометра, сложимъ полученные числа и раздѣлимъ сумму на 24, т.-е. на число сдѣланныхъ наблюденій, то будемъ имѣть *среднюю температуру сутокъ*. Опытъ показываетъ, что для опредѣленія средней температуры сутокъ достаточно въ теченіе сутокъ сдѣлать *три* наблюденія: около семи часовъ утра, около часу и девяти часовъ вечера, и вывести изъ нихъ ариметическое среднее. Полученное число будетъ очень мало отличаться отъ истиннаго средняго, какое получилось бы помощью двадцати четырехъ наблюденій. Складывая среднія температуры послѣдовательныхъ дней даннаго мѣсяца и раздѣливъ сумму на число дней получимъ *среднюю температуру мѣсяца*. Наконецъ сумма средних температуръ мѣсяцевъ даннаго года въ данной мѣстности, раздѣленная на двѣнадцать даетъ *среднюю температуру года* въ этой мѣстности. Линіи на земной по-

верхности соединяющія точки равной средней годичной температуры называются *изотермами* или *изотермическими линіями*. Средняя температура Москвы есть $+4^{\circ},1$; изотермическая линія Москвы ($55^{\circ}45'$ С. шир.) на западъ отъ нашей столицы сильно повышается къ сѣверу, проходя близъ Стокгольма и Дронгтейма.

Изотермы называютъ линіи равной лѣтней температуры, *изохимами*—линіи равной зимней температуры. Вообще температура на земной поверхности понижается отъ экватора къ полюсамъ, причемъ около экватора температура круглый годъ почти одинакова, тогда какъ подъ большими широтами разность между температурой лѣта и зимы весьма значительна. Такъ, разности между средними температурами наиболѣе теплаго и наиболѣе холоднаго мѣсяцевъ суть приблизительно:

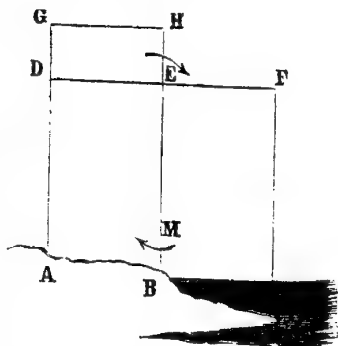
Въ Квито	13,7
„ Палермо	13,9
„ Москвѣ	2,4
„ Якутскѣ	63,5

§ 162. Пониженіе температуры по мѣрѣ восхожденія вверхъ. Восхожденія на горы и поднятія на аэростатахъ свидѣлствуютъ что воздухъ въ верхнихъ слояхъ холоднее чѣмъ въ нижнихъ и температура его уменьшается на каждые двѣсти или двѣсти пятьдесятъ метровъ высоты, приблизительно на градусъ такъ что подъ всѣми широтами на высокихъ горахъ царствуетъ такая низкая температура, что круглый годъ лежитъ снѣгъ (снѣжная линія). Въ Америкѣ, подъ экваторомъ, снѣжная линія находится на высотѣ 4700 метровъ, въ Перу на высотѣ 2700, въ Норвегіи 1570 метровъ.

Воздухъ вверху холоднее, будучи удаленъ отъ сравнительно нагрѣтаго тѣла, какое представляетъ собою земля (до земли достигаютъ двѣ трети солнечной теплоты, треть поглощается атмосферой) и находясь

ближе къ холодному пространству, облегающему землю съ ея атмосферой. Исследования Фурье показываютъ что эта температура ниже -50° ; она называется температурою пространства; ее показывалъ бы термометръ, помѣщенный гдѣ-либо въ пространствѣ, гдѣ нынѣ находится солнечная система, еслибы притомъ не было солнца. Она была бы результатомъ обмена теплоты между термометромъ и небесными свѣтилми, за исключеніемъ солнца.

163. Причины производящія вѣтры. Главная причина, производящая вѣтры, есть разность температуръ въ двухъ сосѣднихъ мѣстностяхъ. Пусть пространство AB (фиг. 217) нагрѣто болѣе, чѣмъ смежное пространство BC . Колонна воздуха $ADEB$, поднявшаяся, когда температура была одинакова, равную высоту съ сосѣднею колонною $BEFC$, отъ нагрѣванія расширяется. Поднявшаяся выше уровня DEF масса воздуха $GDHE$ не встрѣчая съ боку препятствія, которое въ состояніи было бы ее удержать, разливается надъ уровнемъ EF , образуя потокъ дующій по направлению стрѣлки. Давленіе холодной колонны увеличивается, давленіе теплой уменьшается, и въ какой-нибудь точкѣ M давленіе справа влѣво становится болѣе чѣмъ давленіе слѣва вправо. Образуется *втерз* по направлению нижней стрѣлки. На фиг. 217 холодная мѣстность изображена покрытою водою, теплая — сухою. Днемъ, при нагрѣваніи солнцемъ, вода дѣйствительно имѣетъ температуру ниже чѣмъ суша, и обра-



Фиг. 217.

зуется вѣтеръ съ моря на берегъ. Ночью явленіе измѣняется характеръ. Суша охлаждается быстрее чѣмъ вода, и вѣтеръ дуетъ съ берега. Эти вѣтры, замѣчаемые когда время спокойно и нѣтъ общаго воздушнаго потока, называются *бризами*.

Слѣдующій опытъ въ маломъ видѣ представляетъ примѣръ образованія потоковъ вслѣдствіе разности температуръ двухъ сосѣднихъ массъ воздуха. Если пріотворить дверь изъ теплой комнаты въ холодную то пламя поднесенной (фиг. 218) свѣчи въ нижней части двери отклонится въ сторону теплой комнаты, въ верхней въ сторону холодной, свидѣтельствуя о направленіи образовавшихся потоковъ.

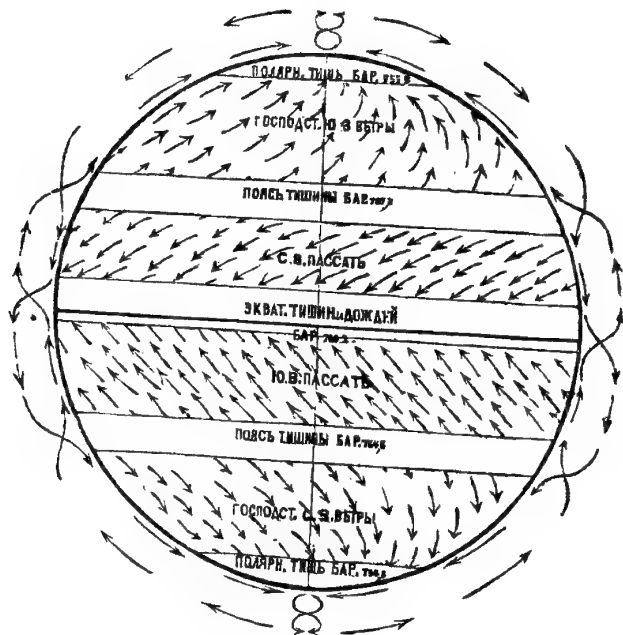


Фиг. 218.

§ 164. Постоянные вѣтры на земной поверхности. Пассаты; муссоны. Извѣстный американскій метеорологъ Мори изобразилъ общее примѣрное распредѣленіе вѣтровъ на земной поверхности (независимо отъ мѣстныхъ и случайныхъ изгибовъ), въ діаграммѣ подобной приведенной на слѣдующей страницѣ (фиг. 219).

По экватору, преимущественно по сѣверной сторонѣ, простирается поясъ экваторіальной тишины, характеризующійся безвѣтріемъ, обиліемъ дождей и сравнительно малымъ давленіемъ воздушнаго столба. На сѣверъ и на югъ отъ этого пояса, градусовъ на тридцать разстояніемъ по широтѣ, находятся два другіе пояса безвѣтрія: одинъ въ сѣверномъ, другой въ южномъ полушаріяхъ, отличающіеся сравнительно сухимъ воздухомъ и значительнымъ барометриче-

скимъ давленіемъ. Наконецъ въ около-полярныхъ мѣ-
стностяхъ встрѣчаемъ полярныя затишья. Воздухъ



Фиг. 219.

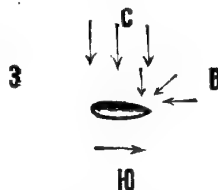
отъ среднихъ поясовъ безвѣтрія, подѣ дѣйствіемъ уси-
леннаго барометрическаго давленія, перетекаетъ въ
страны гдѣ давленіе меньше. Въ каждомъ полушаріи
образуются по два потока: одинъ направляющійся отъ
средняго пояса въ экваторіальныя страны, другой
отъ того же пояса въ полярныя страны. Изъ этихъ
потоковъ экваторіальныя особенно отличаются посто-
янствомъ, и дующій въ сѣверномъ полушаріи обра-
тилъ на себя вниманіе еще со времени Колумба. Они
именуется *пассатами*. Потокъ идущій въ сѣвер-
номъ полушаріи дуетъ съ сѣверо-востока—сѣверо-

восточный пассатъ; въ южномъ съ юго-востока—юго-
восточный пассатъ. Потоки направляющіеся въ по-
лярныя страны не такъ рѣзко замѣтны какъ эквато-
ріальныя. Они дуютъ въ сѣверномъ полушаріи съ юго-
запада, въ южномъ съ сѣверо-запада. Таково примѣр-
ное распредѣленіе вѣтровъ на земной поверхности,
вѣрно изображающее общій характеръ явленія, пред-
ставляющаго въ частностяхъ, особенно на сушѣ,
значительныя отклоненія отъ указаннаго типа. Самыя
полосы безвѣтрія не суть правильныя пояса кото-
рые бы облекали землю параллельно экватору; онѣ
не имѣютъ строгихъ границъ и постоянного положе-
нія, а перемѣщаются въ извѣстныхъ предѣлахъ и
притомъ различно въ разныхъ своихъ частяхъ.

Англійскій ученый Гадлей (Hadley) первый далъ удо-
влетворительное (въ 1735 г.) объясненіе происхожденія
и направленія пассатныхъ вѣтровъ; и начала имъ ука-
занныя: нагревающее дѣйствіе солнца въ связи съ
обращеніемъ земли около оси, и нынѣ служатъ осно-
віемъ для объясненія главныхъ атмосферныхъ пото-
ковъ. „Всѣ согласны, говоритъ Гадлей, что дѣйствіе
солнца есть причина производящая пассатные вѣтры.
Воздухъ въ мѣстахъ (экваторіальныхъ) гдѣ лучи солн-
ца падаютъ почти перпендикулярно сильно нагревает-
ся и чрезъ это разрѣвается. Холодный воздухъ со-
сѣднихъ мѣстъ, вслѣдствіе болѣе значительныхъ плот-
ности и вѣса, сдвигаетъ болѣе нагрѣтый, заставляя его
подыматься къ верху“. Вслѣдствіе этой причины, если-
бы земля была въ покоѣ, произошли бы два потока по
направленію къ экватору, одинъ съ сѣвера, другой съ
юга. Но земля вмѣстѣ съ своею атмосферой обра-
щается около оси и притомъ поверхность ея,—такъ
какъ „параллели по мѣрѣ приближенія къ экватору
постепенно расширяются и длина экватора превыша-
етъ, на примѣръ, длину параллельнаго круга тропи-
ковъ въ отношеніи 1000 къ 917,—движется подѣ эква-

торомъ значительно скорѣе чѣмъ подѣ тропиками. Отсюда слѣдуетъ что воздухъ, идущій отъ тропиковъ къ экватору, имѣя меньшую скорость чѣмъ части земли куда онъ приходитъ, будетъ имѣть относительное движеніе противное суточному движенію земли въ этихъ мѣстахъ (будетъ отставать отъ нихъ). Это относительное движеніе, слагаясь съ движеніемъ по направлению къ экватору, произведетъ *сѣверо-восточный* вѣтеръ по одну сторону и *юго-восточный* по другую сторону экватора. Потокъ идетъ, напримѣръ, съ сѣвера какъ показываютъ стрѣлки (фиг. 220); наблюдатель, перемѣщаясь слѣва вправо съ болѣею скоростію, чѣмъ какъ перемѣщается въ этомъ направленіи весь потокъ, испытываетъ дѣйствіе этого потока не только по направленію отъ сѣвера къ югу, но также и по направленію отъ востока къ западу, такъ что потокъ кажется ему идущимъ съ сѣверо-востока, какъ показываетъ стрѣлка. Въ свою очередь, нагрѣтый экваторіальный воздухъ подымается вверхъ и поверхъ пассатовъ течетъ къ полюсамъ. При этомъ онъ переходитъ изъ экваторіальныхъ странъ въ страны гдѣ земная поверхность движется медленнѣе. Подвигаясь къ сѣверу и югу, этотъ воздухъ все болѣе и болѣе обгоняетъ поверхность земли въ ея суточномъ движеніи и принимаетъ постоянно все болѣе и болѣе западное направленіе. Опускаясь наконецъ на поверхность гдѣ-нибудь въ промежуткѣ между тропиками и полюсами онъ движется по ней какъ *юго-западный* вѣтеръ въ сѣверномъ полушаріи и какъ *сѣверо-западный* въ южномъ.

Полярные потоки идущіе къ экватору, сталкиваясь въ его сосѣдствѣ, образуютъ экваторіальный поясъ безвѣтрія. Мѣста гдѣ начинается смѣна потоковъ и



Фиг. 220.

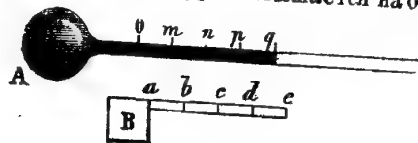
верхніе спускаются внизъ суть средніе поясы тишины и усиленнаго барометрическаго давленія.

Въ Индѣйскомъ океанѣ, особенно въ сосѣдствѣ большаго азіатскаго материка, явленіе пассатовъ измѣняетъ свой характеръ. Согласно теоретическому распредѣленію вѣтровъ, мѣстности эти находятся въ области сѣверо-восточнаго пассата. Сѣверо-восточный вѣтеръ дѣйствительно дуетъ здѣсь въ продолженіе зимнихъ мѣсяцевъ, когда солнце на небесномъ сводѣ находится въ южномъ полушаріи. Это *сѣверо-восточный муссонъ*. Но когда солнце переходитъ въ сѣверное полушаріе и прилегающій къ океану большой материкъ чрезвычайно сильно нагрѣвается, то пояса наибольшаго разрѣженія и наибольшей нагрѣтости воздуха оказывается не близъ экватора, а значительно сѣвернѣе отъ него. Образуется воздушный потокъ отъ экватора къ сѣверу. Потокъ этотъ переходитъ изъ странъ движущихся быстрѣе въ страны гдѣ движеніе медленнѣе, получаетъ, вслѣдствіе избытка скорости уклоненіе, къ востоку и производитъ вѣтеръ дующій съ юго-запада: *юго-западный муссонъ*, преобладающій въ лѣтнее полугодіе.

Прибавимъ что стрѣлки изображенныя на контурѣ диаграммы имѣютъ назначеніемъ дать понятіе о гипотезѣ Мори, полагающаго что сталкивающиеся въ поясахъ безвѣтрія потоки проворачиваются взаимно, и въ атмосферѣ существуетъ постоянное крутоверженіе воздушныхъ частицъ переходящихъ изъ полушарія въ полушаріе, изъ потокъ въ потока. Предположеніе это, впрочемъ, весьма нуждается въ подтвержденіи.

§ 165. Точное опредѣленіе расширенія тѣла: коэффициентъ расширенія. Имѣемъ нѣкоторый объема тѣла, напримѣръ кубическій метръ, при 0°. Возвысимъ температуру этого тѣла отъ 0° до 100°. Объемъ его увеличится и полученное приращеніе объема будетъ вообще нѣкоторая доля первоначальнаго объема, положимъ напримѣръ $\frac{1}{270}$. Если раздѣлимъ это число на число градусовъ на какое нагрѣто тѣло, т.-е. въ нашемъ случаѣ на сто, то получимъ такъ называемый *средній коэффициентъ* расширенія тѣла на одинъ градусъ между 0° и 100°. Въ нашемъ примѣрѣ это будетъ $\frac{1}{27000}$. Еслибы расширеніе тѣла слѣдовало одинаковому закону съ расширеніемъ ртути въ термометрѣ, то средній коэффициентъ расширенія выразилъ бы истинное приращеніе объема тѣла при нагрѣваніи на каждый одинъ градусъ. Дѣйствительно, понятіе о градусѣ температуры мы получаемъ, раздѣляя видимое приращеніе объема ртути въ термометрѣ, при нагрѣваніи отъ 0° до 100°, на сто *разныхъ* частей и разсуждая такъ: когда въ данномъ случаѣ объемъ ртути въ термометрѣ увеличится не на сто, а на 20 такихъ частей, то температура будетъ 20° и т.д. Еслибы данное тѣло расширялось по тому же закону какъ ртуть въ термометрѣ,

то когда ртуть (фиг. 221) получала бы равныя приращенія от, тн пр... показывая что температура возвышается на одинъ, два, три,



Фиг. 221.

градуса, тѣло (изображенное * для наглядности въ видѣ четырехугольника получающаго малые прибавки также получало бы равныя приращенія объема $ab, bc, cd...$ изъ которыхъ каждый былъ бы сотой долей всего приращенія отъ 0° до 100° . Но опыты показываютъ, что различныя тѣла не слѣдуютъ строго одинаковому закону расширенія съ ртутью въ термометрѣ; ихъ приращенія $ab, bc, cd...$, соответствующія равнымъ приращеніямъ ртути въ термометрѣ, неравны между собою; средний коэффициентъ не есть, слѣдовательно, истинный и послѣдній, не есть величина постоянная. Но такъ какъ отступленія эти не велики, а самыя приращенія такъ малы, что и опредѣлить ихъ, для каждаго градуса отдѣльно, съ точностію невозможно, то при рѣшеніи практическихъ задачъ принимаютъ средній коэффициентъ за истинный въ предѣлахъ температуры, для которыхъ онъ опредѣленъ. Прибавимъ, что самый случай расширенія ртути въ термометрѣ, на основаніи котораго опредѣляются температуры, далеко не есть простѣйшій случай расширенія, такъ какъ въ термометрѣ не только расширяется ртуть, но и увеличивается вмѣстимость стеклянной оболочки, заключающей въ себѣ ртуть. Два эти расширенія не слѣдуютъ строго одному закону; отсюда два термометра съѣренные при 0° и 100° , если они не изъ одинаковаго стекла, выше 100° дадутъ разныяся показанія.

§ 166. Зная объемъ тѣла при 0° и его коэффициентъ расширенія найти объемъ при t° . Пусть при 0° объемъ тѣла есть V_0 . Спрашивается какъ великъ будетъ объемъ V_t этого тѣла при t° , если коэффициентъ расширенія его есть δ . Разсуждаемъ такъ. Коэффициентъ расширенія есть дробь показывающая на какую долю объема при 0° расширяется тѣло при нагреваніи на одинъ градусъ. Слѣд. если объемъ тѣла при 0° есть V_0 , то при 1° онъ будетъ $V_0 + \delta V_0$, при 2° будетъ $V_0 + 2\delta V_0$, при t° будетъ $V_0 + \delta V_0 t$ или $V_0(1 + \delta t)$. Это и есть объемъ при t° , то-есть V_t . Итакъ

$$V_t = V_0 (1 + \delta t)$$

*) Изображеніе условное; въ дѣйствительности, понятно, расширеніе тѣла происходитъ по всѣмъ направленіямъ.

Слѣд. объемъ тѣла при какой-нибудь температурѣ равенъя объему при 0° помноженному на соответствующій биномъ расширенія.

§ 167. Вычисленіе, на основаніи коэффициента расширенія, плотности тѣла при разныхъ температурахъ. Въсь P тѣла, котораго объемъ V , плотность D выражается какъ мы знаемъ (§ 20) формулою

$$P = VD$$

Формула относится къ метрической системѣ мѣръ, при которой въсь единицы объема воды при $+4^\circ$ (наибольшая плотность воды) принимается за единицу вѣса (граммъ если объемъ равенъя кубич. сантиметру, килограммъ если объемъ есть кубическій дециметръ). Число D выражаетъ плотность, т.-е. отношеніе вѣса нѣкотораго объема тѣла къ вѣсу равнаго объема воды при $+4^\circ$. При этомъ, числа вносимыя въ таблицы плотностей условились относить къ случаю когда тѣло имѣетъ температуру 0° .

Спрашивается: зная плотность тѣла при 0° , найти его плотность при t° .

Сравнимъ два тѣла одинакаго вѣса, но разной плотности. Въсь перваго выразится формулою

$$P = VD$$

Вѣсь втораго, котораго плотность D' , выразится подобною же формулою

$$P = V'D'$$

гдѣ V' есть соответствующій объемъ этого тѣла. Раздѣливъ одно равенство на другое, получимъ

$$\frac{V}{V'} = \frac{D}{D'}$$

Слѣд. при томъ же вѣсѣ, объемы двухъ тѣлъ обратно пропорціональны ихъ плотностямъ.

Одно и то же тѣло при двухъ разныхъ температурахъ можно разсматривать какъ два тѣла, различной плотности, но одного вѣса. При 0° плотность есть D , означенная въ таблицахъ; при t° , вслѣдствіе расширенія тѣла отъ нагреванія, плотность его дѣлается меньше. Назовемъ ее буквою D_t . Въсь P останется тотъ же въ обоихъ случаяхъ и выразится въ первомъ, формулою

$$P = VD.$$

во второмъ

$$P = V'D_t$$

гдѣ V' объемъ тѣла при t' . Но мы знаемъ что

$$V' = V(1 + \delta t)$$

гдѣ δ коэффициентъ расширенія. Слѣдовательно формулы выражающія вѣсъ P въ двухъ случаяхъ будутъ:

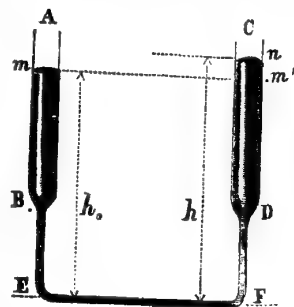
$$P = VD \text{ и } P = V(1 + \delta t) D_t$$

Отсюда, раздѣливъ одну формулу на другую, найдемъ

$$D_t = \frac{D}{1 + \delta t}$$

Слѣд. плотность тѣла при какой-нибудь температурѣ равняется плотности при 0° дѣленной на биномъ расширения.

§ 168. Коэффициентъ абсолютнаго расширенія ртути. Наблюдаемое въ термометрѣ расширеніе ртути есть, какъ не разъ сказано, расширеніе видимое. Весьма важно знать *абсолютное* расширеніе ртути, т.-е. истинное приращеніе объема ртути при нагреваніи, независимо отъ сосуда, въ которомъ она находится. Коэффициентъ абсолютнаго расширенія ртути элементъ чрезвычайно важный для практическаго рѣшенія всѣхъ вопросовъ о расширеніи жидкихъ и твердыхъ тѣлъ. Французскіе ученые Дюлонгъ и Пти (1818) основали его опредѣленіе на слѣдующемъ началѣ. Въ двухъ сообщающихся сосудахъ (фиг. 222), соединенныхъ тонкимъ каналомъ, находится ртуть, въ одномъ при температурѣ 0° , въ другомъ при какой-нибудь довольно высокой температурѣ t' . Очевидно, имѣемъ какъ бы двѣ жидкости, изъ которыхъ одной плотность есть D ,



Фиг. 222.

другой $\frac{D}{1 + kt}$, гдѣ k коэффициентъ абсолютнаго расширенія ртути. Пусть H есть высота холодной колонны ртути, H' высота теплой колонны, считаемая отъ тонкаго соединительнаго канала. Для равновѣсія, высота H' должна быть больше H , и по закону равновѣсія двухъ жидкостей разной плотности въ сообщающихся сосудахъ, должно удовлетворяться отношеніе:

$$H' : H = D : \frac{D}{1 + kt} \text{ или}$$

$$H' : H = 1 + kt, \text{ откуда } k = \frac{H' - H}{Ht}$$

Слѣд. измѣривъ температуру t' , высоту холодной колонны и разность высотъ теплой и холодной колоннъ, найдемъ коэффициентъ k . Эта величина въ предѣлахъ между 0° и 100° есть $\frac{1}{5550}$. Слѣд. ртуть при возвышеніи температуры отъ 0° до 100° увеличивается приблизительно на $\frac{1}{55}$ своего объема при 0° .

Приведемъ нѣсколько примѣровъ коэффициентовъ расширенія другихъ тѣлъ въ тѣхъ же предѣлахъ отъ 0° до 100° .

Желѣзо . . .	$\frac{1}{28200}$
Платина . . .	$\frac{1}{37700}$
Мѣдь . . .	$\frac{1}{27400}$
Стекло . . .	отъ $\frac{1}{36200}$ до $\frac{1}{44000}$

§ 169. Опредѣленіе вмѣстимости сосуда помощью взвѣшиванія наполняющей его жидкости. Пусть P есть вѣсъ жидкости, напримѣръ ртути, наполняющей данный сосудъ при t' . Не трудно опредѣлить объемъ этой ртути, очевидно, равный вмѣстимости сосуда который она наполняетъ. Такъ какъ вѣсъ равняется объему помноженному на плотность, то изъ формулы $P = VD$ получаемъ

$$V = \frac{P}{D_t} \text{ гдѣ } D_t \text{ есть плотность ртути при } t'.$$

А мы знаемъ что

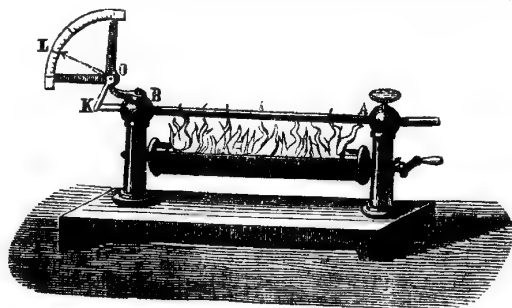
$$D_t = \frac{D}{1 + kt}$$

гдѣ D есть табличная плотность ртути, то-есть 13,6. Такъ какъ $k = \frac{1}{5550}$, то имѣемъ

$$V = \frac{P}{13,6} \cdot \frac{5550 + t}{5550}$$

§ 170. Линейное расширеніе твердыхъ тѣлъ. Мы говорили о приращеніяхъ объема тѣлъ при нагреваніи, то-есть о такъ называемомъ *кубическомъ расширеніи*. Въ практикѣ по отношенію къ твердымъ тѣламъ не столько важно знать увеличеніе объема сколько *удлиненіе*, какое испытываетъ при нагреваніи полоса даннаго твердаго тѣла (это особенно важно въ приложеніи къ линейкамъ употребляемымъ въ качествѣ мѣръ длины), т.-е. *линейное расширеніе* тѣла. Фиг. 223 изображаетъ снарядъ употребляемый для доказательства удлиненія полосъ при нагреваніи. Полоса АВ однимъ концомъ укрѣплена неподвижно, а другимъ, свободно проходящимъ чрезъ столбикъ В, упирается въ короткое плечо ломаго рычага; при

удлиненіи она толкает это плечо и передвигает стрѣлку, по перемѣщенію которой можно судить о степени удлиненія.



Фиг. 223.

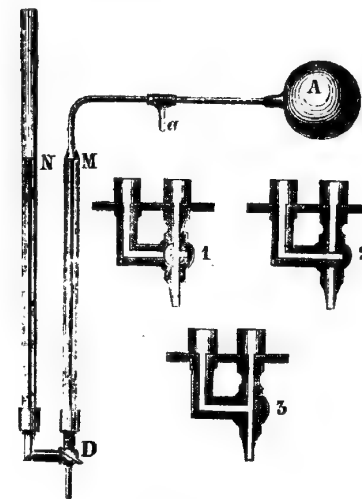
Опредѣливъ удлиненіе полосы при нагреваніи отъ 0° до t° , найдемъ вообще что оно составляетъ нѣкоторую весьма малую долю длины полосы при 0° . Такъ въ случаѣ платины при нагреваніи отъ 0° до 100° полоса удлиняется на $\frac{1}{1100}$ первоначальной длины. Раздѣливъ это удлиненіе на число градусовъ t , въ нашемъ примѣрѣ на 100, получимъ *коэффициентъ линейнаго расширенія*, т.-е. дробь, показывающую какое приращеніе получаетъ единица длины тѣла при нагреваніи на одинъ градусъ. Коэффициенты линейнаго расширенія слѣдующихъ тѣлъ суть:

Платины	$\frac{1}{11000}$
Мѣди	$\frac{1}{58000}$
Желѣза	$\frac{1}{80000}$
Дерева (сосна) $\frac{1}{300000}$	

Цинкъ расширяется болѣе другихъ металловъ. Сравнивая коэффициенты кубическаго и линейнаго расширенія какаго-нибудь тѣла видимъ что кубическій коэффициентъ болѣе линейнаго приблизительно *втрое*. Это замѣчаніе имѣетъ теоретическое основаніе. Допустимъ, что тѣло, будучи однороднымъ, расширяется одинаково по всѣмъ направленіямъ и вообразимъ что оно есть кубъ, котораго каждая сторона при 0° есть единица. Объемъ такого куба есть также единица. Нагревъ его на одинъ градусъ. Каждая сторона удлинится и будетъ равна $1+\alpha$, гдѣ α коэффициентъ линейнаго расширенія. Объемъ куба будетъ $(1+\alpha)^3$ или $1+3\alpha+3\alpha^2+\alpha^3$. Такъ какъ α малая дробь, то квадратомъ и кубомъ ея можно пренебречь, и принять что расширенный объемъ будетъ $1+3\alpha$. Величина 3α показывающая приращеніе единицы объема при нагреваніи на одинъ градусъ, есть *коэффициентъ кубическаго расширенія*. Видимъ что онъ втрое болѣе линейнаго. Зная длину L_0 полосы при 0° и коэффициентъ линейнаго расширенія α , легко опредѣлить длину L_t при t° , руководствуясь разсужденіемъ подобнымъ тому какимъ опредѣляли объемъ при t° зная объемъ при 0° (§ 166). Получимъ $L_t = L_0(1+\alpha t)$.

§ 171. Расширеніе газовъ. Фиг. 224 даетъ понятіе о главной методѣ, помощью которой изслѣдуется расширеніе газобразныхъ тѣлъ. Резервуаръ А заключающій въ себѣ газъ сообщается съ двухколенною трубкою, наполненною ртутью, отдѣляющею газъ отъ окружающаго воздуха.

Объемъ газа зависитъ отъ двухъ условій: отъ давления, подъ каковымъ онъ находится и отъ температуры какую имѣетъ. При *постоянной* температурѣ объемъ зависитъ отъ давления по закону Маріотта. Но если температура измѣняется то и при *одинакомъ и томъ же давленіи* газъ занимаетъ разный объемъ, смотря по тому до какой степени онъ нагрѣтъ. Въ снарядѣ изображенномъ на фиг. 224, давленіе подъ каковымъ газъ находится



Фиг. 224.

опредѣляется разностью высоты ртути въ колѣнахъ трубки. Если высота эта одинакова какъ въ томъ такъ и въ другомъ колѣнѣ, то газъ, находится подъ атмосфернымъ давленіемъ и имѣетъ упругость равную упругости вѣшняго воздуха. Нагревъ резервуаръ (первоначально находящійся, допустимъ, при температурѣ 0°) до нѣкоторой температуры t° . Газъ расширится; колонна ртути въ колѣнѣ MD нѣсколько опустится, а въ открытомъ колѣнѣ подымется. Но выпустивъ помощью крана Λ нѣкоторое количество ртути, легко достигнѣ что въ обоихъ колѣнахъ ртуть станетъ вновь на одной высотѣ, и газъ вновь будетъ находиться подъ давленіемъ атмосферы. Измѣривъ на сколько опустилась ртуть въ колѣнѣ MD и зная отношеніе внутренняго объема этой трубки къ объему резервуара не трудно опредѣлить приращеніе объема газа вслѣдствіе нагреванія и слѣд. опредѣлить его коэффициентъ расширенія. Сдѣлавъ колонну ртути въ открытомъ колѣнѣ выше чѣмъ въ

*) Кранъ этотъ, какъ видно на отдѣльныхъ изображеніяхъ, имѣетъ три вѣтви позволяющія, смотря по его положенію, то привести колѣна M и N въ сообщеніе, то выпустить ртуть изъ того или другаго колѣна или выстѣ изъ обоихъ.

сообщающемся съ резервуаромъ, будемъ имѣть газъ подъ давленіемъ большимъ атмосфернаго и можемъ изслѣдовать расширеніе такого сжатого газа. Можно также, заставляя газъ не смотря на нагреваніе сохранять неизмѣнный объемъ (для этого надо приливать ртути въ открытое колено), изучать возрастаніе его упругости по мѣрѣ нагреванія. Наоборотъ, зная законъ возрастанія упругости газа при возвышеніи температуры, можно воспользоваться снарядомъ въ качествѣ *воздушнаго термометра*, для опредѣленія температуры.

При точныхъ опредѣленіяхъ не должно упускать изъ виду, что резервуаръ въ свою очередь расширяется при нагреваніи, но такъ какъ расширеніе газовъ несравненно значительнѣе расширенія стекла, то вліяніе это незначительно.

Французскій ученый Гей-Люссакъ изъ своихъ опытовъ (въ 1802 г.) надъ расширеніемъ газовъ отъ нагреванія при постоянномъ давленіи, вывелъ заключеніе что *есть газы*, и притомъ въ сжатомъ или разрѣженномъ состояніи они находятся, *расширяются одинаково*. При возвышеніи температуры на каждый градусъ данный объемъ газа получаетъ приращеніе равное $\frac{1}{273}$ объема занимаемаго имъ при 0°. Такимъ образомъ если данное количество какого-нибудь газа при 0° занимаетъ объемъ V_0 , то объемъ его при t° или V_t получимъ разсуждая какъ въ § 166. Будемъ имѣть:

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t\right) \text{ или } V_t = V_0 \left(\frac{273+t}{273}\right).$$

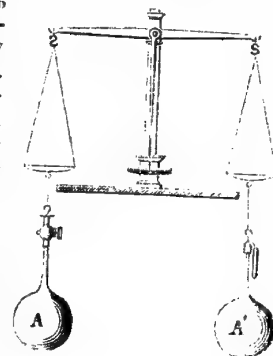
Дробь $\frac{1}{273}$ или 0,00366 объема при 0° есть *коэффициентъ расширенія газовъ*. Законъ Гей-Люссака можно выразить такъ: коэффициентъ расширенія газовъ есть величина постоянная, одинаковая для всѣхъ газовъ, независимая отъ ихъ плотности и температуры. Изысканія ученыхъ послѣ Гей-Люссака и въ особенности изслѣдованія современнаго намъ французскаго ученаго Ренью показали что законъ этотъ имѣетъ только приближенное значеніе. Отступленія, впрочемъ, въ случаѣ постоянныхъ газовъ (не способныхъ обращаться въ жидкое состояніе) весьма незначительны и безъ большой погрѣшности его можно разсматривать (подобно закону Мариотта) какъ точное выраженіе явленія.

Также дробь $\frac{1}{273}$ или 0,00366 выражаетъ приращеніе на каждый градусъ, упругости газа нагреваемого *при постоянномъ объемѣ*, т.-е. когда не дозволяемъ ему расширяться. Каждый градусъ нагреванія усиливаетъ давленіе газа на граничающую его стѣнку на $\frac{1}{273}$ долю того давленія какое газъ оказывалъ имѣя температуру 0°. Если давленіе данного количества газа при 0° есть H , то при t° оно будетъ $H + \frac{1}{273} H \cdot t = H \left(1 + \frac{1}{273} t\right)$.

§ 172. Плотность газовъ. Плотностию мы назвали отношеніе вѣса тѣла къ вѣсу равнаго объема воды, взятой при 4°; тогда,

какъ тѣло при 0°. Если дѣло идетъ о газообразныхъ тѣлахъ, то мы должны прибавить еще условіе относительно давленія, такъ какъ при той же температурѣ, но при разныхъ давленіяхъ, газъ имѣетъ различную плотность, вычисляемую по закону Мариотта. Условились за нормальное давленіе принимать давленіе измѣряемое ртутнымъ столбомъ въ 760 миллиметровъ.

Чтобы опредѣлить вѣсъ даннаго объема воздуха при 0° и давленіи 760 миллиметровъ, Ренью привѣшивалъ къ чашкѣ вѣсовыхъ баллоновъ, изъ котораго предварительно былъ выкаченъ воздухъ, и уравновѣшивалъ его другимъ баллономъ (фиг. 225), внѣшній объемъ котораго равенъ внѣшнему объему перваго (ихъ уравниваютъ, прибавляя къ меньшему одну или двѣ стеклянныя трубки). Очевидно что баллоны эти претерпѣваютъ одинаковыя потери вѣса въ воздухѣ, взаимно уничтожающіяся при всѣхъ измѣненіяхъ атмосфернаго давленія, температуры и влажности. Затѣмъ наполняютъ пустой баллонъ при температурѣ 0° сухимъ воздухомъ или газомъ, вѣсъ котораго требуется опредѣлить. Равновѣсіе нарушится, и для восстановленія его на вторую чашку надо положить нѣкоторый грузъ, который и выразитъ прямо вѣсъ вдушеннаго воздуха или газа.



Фиг. 225.

Опыты дали слѣдующія величины для вѣса кубическаго метра воздуха и другихъ газовъ при 0° и 760 миллиметрахъ давленія:

Воздухъ	1,2932	килограммовъ.
Кислородъ	1,4298	"
Водородъ	0,0896	"
Углекислота	1,9774	"

Раздѣливъ эти числа на первое изъ нихъ, найдемъ плотность газовъ сравнительно съ воздухомъ, а именно:

Воздухъ	1,0000
Кислородъ	1,1056
Водородъ	0,0693
Углекислота	1,5290

Такъ какъ плотность всѣхъ вообще газовъ въ зависимости отъ давленія и температуры измѣняется по одинаковымъ законамъ съ воздухомъ (законамъ Мариотта и Гей-Люссака), то отношеніе вѣса даннаго газа къ вѣсу равнаго объема воздуха

взятого при той же температурѣ и при томъ же давленіи, какъ и газъ, остается во всѣхъ случаяхъ одинаковымъ. Другими словами: *сравнительная съ воздухомъ плотность газа есть величина постоянная.*

§ 172. Въсь объема V воздуха или газа при t^0 и давленіи H . Кубическій метръ воздуха при 0^0 и давленіи 760 милл. вѣситъ 1,293 килограмма. Найдёмъ въсь кубическаго же метра воздуха при давленіи H и температурѣ t^0 . Еслибы температура оставалась 0^0 , давленіе же было H , то (такъ какъ по закону Мариотта плотность газа пропорциональна давленію) кубическій метръ вѣсилъ бы $1,293^k \cdot \frac{H}{760}$. Это количество воз-

духа при t^0 , вслѣдствіе расширенія, займетъ объемъ $1 + \frac{1}{273} t$, и слѣдовательно одинъ метръ будетъ вѣсить

$$1,293^k \cdot \frac{H}{760} : \left(1 + \frac{1}{273} t\right)$$

или, назвавъ этотъ въсь кубическаго метра при давленіи H и температурѣ t^0 буквою p , будемъ имѣть

$$p = 1,293^k \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{273}{273 + t}$$

Въсь V кубическихъ метровъ воздуха, при нашихъ условіяхъ, получится, если умножить эту величину на V . Онъ будетъ

$$P = 1,293^k \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{273}{273 + t} \cdot V$$

Еслибы дѣло шло не о воздухѣ, а о какомъ-либо другомъ газѣ, то вмѣсто 1,293 кил. надо было бы взять величину соответствующую этому газу, и вмѣсто $\frac{1}{273}$ ввести коэффициентъ расширенія газа. Но такъ какъ коэффициенты расширенія газовъ весьма близки между собою, то для всѣхъ газовъ слѣдующихъ закону Мариотта можно пользоваться формулой относящеюся къ воздуху, помноживъ ее на сравнительную съ воздухомъ плотность газа D . Такимъ образомъ въсь Q объема V какого-нибудь газа, плотность котораго по отношенію къ воздуху есть D , будетъ

$$Q = 1,293^k \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{273}{273 + t} \cdot V \cdot D$$

§ 173. Задачи на расширенія тѣлъ. 1) Приложение формулъ кубическаго и линейнаго расширенія тѣлъ къ рѣшенію частныхъ вопросовъ о длинѣ, объемѣ и плотности при разныхъ температурахъ. 2) Зная коэффициентъ расширенія тѣла по одной термометрической скалѣ выразить его по другой. 3) При какой температурѣ куб. метръ воздуха вѣситъ 1 килограммъ подъ давленіемъ H ? 4) Определить объемъ занимаемый килограм-

момъ воздуха при 0^0 и 760 милл. и вообще объемъ занимаемый p граммами воздуха или другаго газа при t^0 и давленіи H . 5) Подъ какимъ давленіемъ должна находиться угольная кислота для того чтобы плотность ея при этой температурѣ равнялась плотности водорода при t^0 и давленіи H . 6) Баллонъ, вмѣщающій въ себѣ V литровъ (куб. дециметровъ) воздуха подъ давленіемъ 760 милл., приводится въ сообщеніе съ другимъ пустымъ баллономъ, вмѣстимость котораго равняется V' литровъ. Спрашивается, какъ великъ въсь воздуха, оставшагося въ первомъ баллонѣ (во время опыта температура предполагается постоянною и равною t^0).

§ 174. Приведеніе къ 0^0 показаній барометра. Если при томъ же атмосферномъ давленіи имѣемъ нѣсколько барометровъ, ртуть въ которыхъ находится при разныхъ температурахъ, то они покажутъ различную высоту ртутнаго столба. За истинную мѣру условились принимать высоту барометра, котораго ртуть при 0^0 . Если, напримѣръ, одинъ барометръ заключаетъ въ себѣ ртуть при 0^0 , а другой при t^0 , то высота послѣдняго H_t будетъ болѣе высоты H_0 перваго, и притомъ такъ какъ эти колонны уравниваются одно и то же давленіе, то высоты ихъ должны быть обратно пропорціональны соответствующимъ плотностямъ.

$$H_t : H_0 = D : \frac{D}{1 + \frac{1}{273} t}$$

Откуда легко опредѣлить H_0 , то-есть приведенную къ 0^0 высоту барометра. Такъ какъ $k = \frac{1}{273}$, то получимъ

$$H_0 = H_t \cdot \frac{5550}{5550 + t}$$

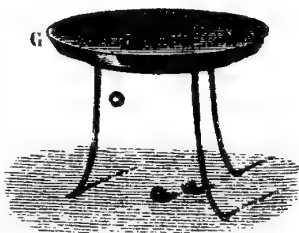
Прибавимъ что высота ртути въ барометрѣ измѣряется помощью дѣленій, сдѣланныхъ на его металлической оправѣ, которая въ свою очередь расширяется отъ тепла. Дѣленія эти во французскихъ барометрахъ представляютъ истинные миллиметры при 0^0 . Потому если барометръ находится при t^0 и мы читаемъ на его скалѣ H миллиметровъ, то это обозначаетъ $\frac{H}{1 + \alpha k t}$ миллиметровъ, гдѣ α коэффициентъ линейнаго расширенія, матеріала изъ котораго сдѣлана скала.

§ 175. Понятіе о количествѣ теплоты. Удѣльная теплота. Кромѣ температуры есть другое понятіе, играющее столь же важную роль въ ученіи о теплотѣ: *количество теплоты*. Понятіе о *количествѣ теплоты* можно составить независимо отъ теоретическаго представленія о томъ что такое теплота. Теплота есть

причина нагревания тѣла, и чѣмъ болѣе тѣло нагревается, тѣмъ, очевидно, болѣе требуется теплоты. Условимся количество теплоты, которое потребно для нагревания единицы вѣса воды на одинъ градусъ, считать *единицею* теплоты. Тогда съ этою единицею мы можемъ сравнивать всѣ другія количества теплоты и, во первыхъ, тѣ количества, которыя потребны дабы нагрѣть на одинъ градусъ по единицѣ вѣса другихъ тѣлъ, напримѣръ, золота, ртути, стекла и т. д. Количество тепла, потребное для нагревания единицы вѣса данного тѣла на одинъ градусъ, называется *удѣльною теплотою* или *теплотностию* этого тѣла. Если тѣмъ количествомъ тепла, какое потребно для нагревания килограмма воды, можно нагрѣть 5 килограммовъ данного тѣла, то удѣльная теплота этого тѣла есть $\frac{1}{5}$ и т. д.

Идея объ удѣльной теплотѣ, утвердившаяся въ наукѣ главнымъ образомъ благодаря изслѣдованіямъ шведскаго ученаго середины прошлаго столѣтія, Вильке, и его современника шотландскаго ученаго, Блэка, вытекла изъ размышленія о явленіи, давно замѣченномъ наблюдателями, а именно, что разные тѣла, при одинаковомъ вѣсѣ, будучи нагрѣты до одинаковой температуры, при погруженіи въ одинаковыя количества холодной воды, нагрѣваютъ ее не въ одинаковой степени.

Нагляднымъ доказательствомъ того что тѣла равнаго вѣса и одинаково нагрѣтыя содержать неравныя количества тепла можетъ служить слѣдующій опытъ англійскаго ученаго Тиндаля. Онъ бралъ шарикъ разныхъ металловъ равнаго вѣса, нагрѣвалъ ихъ до одинаковой сте-



Фиг. 226.

пени въ маслѣ и вѣшалъ на восковой дискъ. (Одни которые болѣе доставляли теплоты проваливались (фиг. 226), другіе только углублялись, растопивъ лишь незначительное количество воска.

Еслибы вмѣсто того чтобы погружать въ воду тѣла одинаковаго вѣса, мы погрузили тѣла одинаковаго объема, то и въ томъ случаѣ нагреваніе было бы не одинаково. Вильке замѣтилъ, „что количество теплоты въ разныхъ тѣлахъ не опредѣляется ни ихъ объемомъ, ни ихъ плотностью, но зависитъ отъ природы тѣла“.

Сдѣланное нами опредѣленіе единицы теплоты (какъ количества потребнаго для нагревания единицы вѣса воды на одинъ градусъ) не совсѣмъ, впрочемъ, точно. Оно было бы точно, еслибы было доказано что для нагреванія единицы вѣса воды при всякой температурѣ потребно то же количество тепла. что слѣд. количества тепла, потребныя для нагреванія килограмма воды отъ 0° до 1°, отъ 50° до 51° отъ 60° до 66° и т. д., равны между собою. Опытъ показываетъ что это не совсѣмъ вѣрно, и количество теплоты, потребное для нагреванія воды на одинъ градусъ при высшихъ температурахъ, вѣскольکو болѣе чѣмъ при низшихъ. Потому, въ строгомъ смыслѣ, за единицу теплоты принимается то количество, какое потребно для нагреванія килограмма воды отъ 0° до 1°. Удѣльная теплота другихъ тѣлъ также не есть величина строго постоянная при всѣхъ температурахъ.

§ 176. **Опредѣленіе удѣльной теплоты по способу смѣшенія.** Главная метода для опредѣленія удѣльной теплоты тѣлъ есть такъ-называемая метода *смѣшенія*, состоящая въ томъ что нагрѣтое тѣло погружаютъ въ воду и измѣряютъ на сколько градусовъ она нагрѣлась, когда пришла въ равновѣсіе температуры съ погруженнымъ тѣломъ. При этомъ, принимается какъ очевидное: 1) что всякое тѣло при охлажденіи на известное число градусовъ утрачиваетъ теплоты столько же, сколько приобрѣло бы еслибы было нагрѣто на ту же величину, и 2) что при смѣшеніи, если между водою и тѣломъ нѣтъ иного взаимодѣйствія кромѣ обмѣна теплоты, количество тепла, приобретенное водою, равняется тому которое отдано тѣломъ.

Возьмемъ килограммъ воды при 100° и смѣшаемъ его съ килограммомъ воды при 0° . Смѣсь будетъ вѣсить 2 килограмма, и температура будетъ 50° . Сто единицъ теплоты, заключающихся въ теплой водѣ, раздѣлятся поровну между двумя килограммами. Но если возьмемъ килограммъ ртути при 100° и смѣшаемъ съ килограммомъ воды при 0° , то общая температура смѣси будетъ только 3° . Вода, нагрѣвшись на три градуса, приобрѣла 3 единицы тепла, уступленные ртутью охладившейся на 97° . Но если килограммъ ртути, охладившись на 97° , доставляетъ три единицы тепла, то и наоборотъ, чтобы нагрѣть килограммъ ртути на 97° потребно 3 единицы теплоты; чтобы нагрѣть на одинъ градусъ потребно теплоты въ 97 разъ меньше или $\frac{3}{97} = 0,03$.

Это число и есть *удѣльная теплота ртути*. Еслибы вмѣсто ртути взяли желѣзо, то вода нагрѣлась бы на 10 градусовъ, откуда заключили бы что удѣльная теплота желѣза есть 0,11.

Повторимъ тѣ же разсужденія въ общей формѣ. Имѣемъ m килогр. воды при t° , смѣшиваемъ ихъ съ m' килограммовъ воды при t'° . Какаѣ будетъ температура смѣси? Назовемъ искомую температуру буквою x . Одинъ килогр. воды, охладившись отъ t° до x° , утрачиваетъ $t-x$ единицъ тепла; m килогр. утрачиваютъ $m(t-x)$. Эта теплота идетъ на то, чтобы m' килогр. нагрѣть отъ t' до x° , а на это потребно $m'(x-t')$. Но эти количества равны между собою; слѣдовательно

$$m(t-x) = m'(x-t') \text{ откуда } x = \frac{mt + m't'}{m + m'}.$$

Формула выведенная петербургскимъ академикомъ середины прошлаго столѣтія, Рихманомъ.

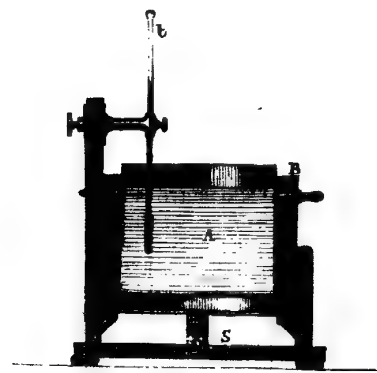
Представимъ себѣ, повторныхъ, что имѣемъ m килограммовъ тѣла, котораго искомая удѣльная теплота есть x , температура T° , и которое будучи погружено въ M килограммовъ воды при θ° , и придя въ равновѣсіе температуры съ водою, получило общую съ нею температуру t° . Можно разсуждать такъ: M килограммовъ воды грѣлись отъ θ° до t° ; слѣдовательно приобрѣли количество теплоты $M(t-\theta)$; съ другой стороны m килогр. тѣла охладившись на $T-t$ градусовъ отдали теплоты $mx(T-t)$. (ибо x есть количество тепла, отдаваемое однимъ килограммомъ тѣла при охлажденіи на одинъ градусъ;

mx — количество, отдаваемое m килограммами при охлажденіи на одинъ градусъ, и это количество надо помножить на $T-t$ градусовъ, чтобы выразить полную потерю). То что теряеть тѣло — приобретаетъ вода; слѣдовательно

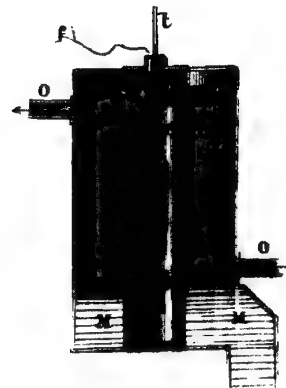
$$mx(T-t) = M(t-\theta),$$

откуда и можно опредѣлить x .

На практикѣ погруженіе тѣла въ воду производится въ металлическомъ сосудѣ съ тонкими стѣнками, называемомъ *калориметромъ* (фиг. 227). Сосудъ этотъ иногда помѣщаютъ, какъ и изображено на чертежѣ, внутри другаго металлическаго сосуда съ цѣлью оградить отъ потоковъ воздуха. Для ускоренія обмѣна теплоты и для равномерности ея распредѣленія, жидкость взмѣшивается тонкою металлическою мѣшалкой или, буде удобно, самымъ тѣломъ, повѣшеннымъ на нити. Теплота, принимаемая стѣнками калориметра.



Фиг. 227.



Фиг. 228.

мѣшалкой и термометромъ, погруженнымъ въ воду для указанія температуры, должна приниматься въ разчетъ при вычисленіи удѣльной теплоты. Нагрѣваніе тѣла до болѣе или менѣе высокой температуры, напримѣръ около 100° , производится обыкновенно въ особомъ аппаратѣ (фиг. 228), нагрѣваемомъ паромъ

Въ случаѣ если вода дѣйствуетъ на тѣло растворяющимъ или химическимъ образомъ, оно должно быть заключено въ оболочку изъ вещества, котораго удѣльная теплота опредѣлена особо.

Укажемъ какъ, при составленіи формулы для опредѣленія удѣльной теплоты, обратить вниманіе на теплоту, принимаемую стѣнками калориметра. Пусть вѣсъ стѣнокъ калориметра есть m' , удѣльная теплота металла, изъ котораго онѣ сдѣланы, c . Количество тепла $mx(T-t)$, отдаваемое тѣломъ, идетъ отчасти на нагреваніе воды калориметра, на что потребно $M(t-\theta)$ единицъ теплоты; отчасти на нагреваніе стѣнокъ, т.-е. вѣса m' металла, котораго удѣльная теплота c , и который нагревъ отъ θ° до t° (вслѣдствіе взмѣшиванія воды тонкія стѣнки калориметра имѣютъ ту же температуру какъ и вода); послѣднее количество есть $m'c(t-\theta)$. Слѣдовательно

$$mx(T-t) = M(t-\theta) + m'c(t-\theta) \quad \text{или}$$

$$mx(T-t) = (M + m'c)(t-\theta).$$

Въ этомъ уравненіи величина c предполагается извѣстною. Если она неизвѣстна, то ее опредѣляютъ предварительнымъ опытомъ, погружая въ воду калориметра нагрѣтый кусокъ того самаго вещества, изъ каковаго сдѣланы его стѣнки. Тогда $x = c$ и наше уравненіе будетъ съ однимъ неизвѣстнымъ c , которое и опредѣлится.

§ 177. Поправка относительно вліянія окружающей среды. Опытъ надъ смѣшеніемъ производится въ атмосферѣ, которой температура вообще неодинакова съ температурой калориметра. Если калориметръ теплѣе окружающаго воздуха, онъ теряетъ нѣкоторое количество тепла, если холоднѣе—приобрѣтаетъ. Чтобы сдѣлать вліяніе это по возможности незначительнымъ, опыты производятъ съ такими количествами веществъ что температура калориметра повышается лишь на незначительное число градусовъ. Румфордъ совѣтывалъ опытъ располагать такъ чтобы вода до погруженія тѣла была нѣсколько холоднѣе окружающаго воздуха и послѣ смѣшенія повысилась приблизительно на столько градусовъ выше окружающей температуры, на сколько прежде была ниже. Опытъ представляетъ въ такомъ случаѣ два противоположные періода: въ продолженіе одного калориметръ приобретаетъ теплоту, въ продолженіе другого теряетъ, и слѣдовательно происходитъ нѣкоторое вознагражденіе. Но, въ строгомъ смыслѣ, приѣмъ этотъ не достигаетъ цѣли, ибо тотчасъ по погруженіи происходитъ быстрое возростаніе температуры, продолжающей затѣмъ медленно подниматься до наибольшей высоты. Потому поправку дѣлаютъ на основаніи *вычисленія*, пользуясь *закономъ охлажденія* тѣла, указаннымъ Ньютономъ. Законъ этотъ, вѣрный впрочемъ только для случая когда температура тѣла лишь немногимъ выше температуры окружающей среды, состоитъ въ слѣдующемъ:

пониженіе температуры нагрѣтаго тѣла въ продолженіе небольшого времени,—напримѣръ въ минуту если охлажденіе довольно медленно,—пропорціонально *избытку* температуры тѣла надъ температурой окружающей среды. Самую величину пониженія соотвѣтственно различнымъ избыткамъ опредѣляютъ предварительными испытаніями.

§ 178. Нѣсколько примѣровъ удѣльной теплоты тѣлъ. Приведемъ нѣсколько примѣровъ удѣльной теплоты тѣлъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ.

Удѣльная теплота.

Золото	0,032
Серебро	0,057
Мѣдь	0,095
Желѣзо	0,114
Висмутъ	0,031
Ртуть	0,033
Вода	1,000
Ледъ	0,504

Вода имѣетъ наибольшую удѣльную теплоту (смѣсь воды съ 20 процентами спирта имѣетъ, впрочемъ, удѣльную теплоту превышающую удѣльную теплоту воды).

Значительною разницею въ удѣльной теплотѣ висмута и желѣза объясняется слѣдующее явленіе (замѣчаніе Типдала), могущее ввести въ ошибку при опредѣленіи теплопроводности этихъ тѣлъ по способу Ингенгуса (§ 154). Теплопроводность висмута значительно слабѣе чѣмъ желѣза, а между тѣмъ воскъ на палочкѣ висмута начинаетъ *раньше* таять, такъ какъ для нагреванія висмута потребно значительно менѣе теплоты чѣмъ для нагреванія желѣза.

Реньо, помощію продолжительныхъ и трудныхъ изысканій съ точностію, опредѣляетъ удѣльную теплоту различныхъ газовъ. Когда давленіе, подъ которымъ находится газъ, остается безъ переменъ, то потребны слѣдующія количества теплоты для нагреванія килограмма газа на одинъ градусъ:

Воздухъ	0,2375
Водородъ	3,4090
Углекислота	0,2169

II. Дѣйствія тепла на тѣла сопровождающіяся измѣненіемъ состоянія тѣлъ.

§ 179. Переходъ изъ твердаго въ жидкое состояніе или плавленіе тѣлъ. Твердые тѣла вообще при нагреваніи: 1) расширяются, 2) когда нагреваніе достигло опредѣленнаго предѣла, переходятъ въ жидкое состо-

яніе, *плавятся* (если не разлагаются химически). Есть два закона плавления: 1) каждое тѣло плавится при своей опредѣленной температурѣ, называемой *температурою плавленія* этого тѣла; тѣло оставаясь въ твердомъ видѣ не можетъ имѣть температуру выше этого предѣла; 2) температура эта остается постоянною отъ начала плавленія до того времени какъ вся масса расплавится.

Точка плавленія различныхъ тѣлъ:

Ртуть	— 39°	Свинецъ	326°
Ледъ	0°	Цинкъ	360°
Сало	33°	Серебро	1000°
Воскъ желтый	61°	Мѣдь	1050°
Стеаринъ	70°	Золото	1250°
Сѣра	110°	Чугунъ	1100°—1200°
Легкоплавкій металлъ		Желѣзо	1500°—1600°
Розе изъ 4 частей висмута, 1 свинца и 1 олова	94°	Платина	около 2000°

При наивысшихъ температурахъ, какихъ можно достигъ чрезъ сжиганіе смѣси кислорода и водорода и чрезъ раскаленіе углей сильнымъ гальваническимъ токомъ, можно расплавить платину, кварцъ и другія трудноплавкія тѣла и даже размягчить уголь.

Нѣкоторые тѣла, прежде чѣмъ растопятся, переходятъ чрезъ состояніе постепеннаго размягченія, среднее между твердымъ и жидкимъ состояніемъ. Таковы стекло, смола, до известной степени желѣзо, размягчающееся при раскаленіи, вслѣдствіе чего его можно ковать молотомъ.

Сильное давленіе на тѣло вообще подымаетъ его точку плавленія; ледъ, напримѣръ, подъ сильнымъ давленіемъ начинаетъ нѣсколько раньше таять чѣмъ не сжатый (при $-0^{\circ},05$ до $-0^{\circ},13$ подъ давленіемъ отъ 8 до 17 атмосферъ).

§ 180. Скрытая теплота плавленія. До изслѣдованій Блэкка (1757) полагали, что когда нагрѣваемое тѣло достигло известной температуры (ледъ, напримѣръ, температуры 0°), то незначительнаго прибавленія тепла достаточно чтобъ обратить его въ жидкое состо-

яніе. Но еслибы было такъ, размышлялъ Блэккъ *), то „послѣдствія были бы ужасны, ибо если и нынѣ таяніе большаго количества снѣга и льда производитъ разрушительные потоки и наводненія, то что было бы еслибы снѣгъ и ледъ таяли такъ быстро какъ необходимо вытекаетъ изъ упомянутаго мнѣнія“. На дѣлѣ ледъ таетъ весьма медленно, постоянно поглощая теплоту, но безъ увеличенія температуры, такъ что получающаяся вода имѣетъ ту же температуру 0° , какую имѣлъ ледъ. Эту теплоту, поглощаемую тѣломъ при переходѣ изъ твердаго въ жидкое состояніе, Блэккъ назвалъ *скрытою теплотою плавленія*, желая словомъ *скрытый* обозначить то обстоятельство, что эта теплота, входя въ тѣло, не повышаетъ его температуры, а пребываетъ въ немъ какъ бы въ скрытомъ состояніи, вновь обнаруживаясь въ явной формѣ при возвращеніи тѣла въ твердый видъ. Для подтвержденія своего ученія Блэккъ произвелъ слѣдующіе опыты. 1) Помѣстивъ въ воздухъ, въ двухъ одинаковыхъ сосудахъ равныя по вѣсу количества льда и воды при 0° , онъ наблюдалъ ихъ постепенное нагрѣваніе. Такъ какъ температура воздуха въ продолженіе всего времени опыта приблизительно оставалась безъ перемѣны, сосуды же были одинаковы, то можно было допустить, что нагрѣваніе происходило одинаковымъ образомъ, и каждый сосудъ въ полчаса пріобрѣталъ то же количество тепла. Опытъ показалъ что чрезъ полчаса вода перваго нагрѣлась на $3^{\circ},9$ (7° Фар.) выше нуля; тогда какъ потребовалось 10 съ половиною часовъ для того чтобы ледъ втораго сосуда растаялъ и температура образовавшейся воды (бывшей неизмѣнно при 0° во все время пока ледъ не растаялъ вполне) повысилась на $3^{\circ},9$ выше нуля. Такъ какъ послѣднее повышеніе, со-

*. Блэккъ (Black), знаменитый шотландскій химикъ, родился въ 1728 году. Съ 1756 года профессоръ химіи и анатоміи въ Глазго, потомъ въ Единбургѣ. Открылъ углекислый газъ. Умеръ въ 1799 году.

гласно опыту съ первымъ сосудомъ, требуетъ полчаса, то собственно таяніе происходило въ продолженіе 10 часовъ или 20 получасовъ. Мы въ правѣ заключить, что въ продолженіе этого времени сосудомъ со льдомъ приобрѣтено и потреблено на то чтобы ледъ этотъ обратить въ воду количество тепла въ 20 разъ превышающее то какое приобрѣтено въ полчаса первымъ сосудомъ и повысило температуру его воды на $3^{\circ},9$. Итакъ чтобы 1 килограммъ льда обратить въ воду потребно въ 20 разъ болѣе тепла чѣмъ сколько нужно для нагрѣванія такого же количества воды на $3^{\circ},9$, т.-е. $3,9 \times 20 = 78$ единицъ тепла. Такова слѣдовательно, приблизительно, *скрытая теплота льда*, то-есть количество тепла потребное для обращенія килограмма льда при 0° въ килограммъ воды при той же температурѣ.

2) Блэккъ опускалъ въ теплую воду определенное количество льда при 0° и, дождавшись пока онъ растаетъ (для ускоренія таянія вода взмѣшивалась), определялъ температуру смѣси. Явленіе сопровождалось значительнымъ поглощеніемъ тепла, и температура смѣси была много ниже той, какая получилась бы еслибы вмѣсто льда мы ввели въ теплую воду равное по вѣсу количество воды при 0° . Не трудно было вычислить что обращеніе единицы вѣса льда въ воду потребляетъ 79,5 единицъ тепла (число подтвержденное новѣйшими изслѣдованіями).

Въ опытѣ своемъ Блэккъ употреблялъ стеклянный сосудъ вѣсомъ въ 29,2 грамма, въ который было налито 262 грамма воды при $87^{\circ},7$. Въ воду погружался продолговатый кусокъ льда вѣсомъ въ 231 граммъ. Ледъ растаялъ въ нѣсколько секундъ и общая температура воды оказалась $11^{\circ},6$. Такъ какъ удѣльная теплота стекла, по опредѣленію Блэкка, ровно вдвое менѣе удѣльной теплоты воды, то 29,2 грамма стекла равнозначительны по отношенію къ количеству принимаемой или отдаваемой теплоты съ 14,6 граммами воды. Такъ какъ стекло облекая воду, принимаетъ, можно допустить, ту самую температуру, какую имѣ-

етъ вода, то опытъ можно разсматривать какъ погруженіе 231 грамма льда при 0° въ $262 + 14,6 = 276,6$ граммовъ воды при $87^{\circ},7$. Еслибы вмѣсто льда при 0° мы имѣли воду при 0° , то температура смѣси опредѣлилась бы по закону Рихмана (§ 174) и была бы равна $47^{\circ},8$. Между тѣмъ опытъ со льдомъ далъ $11^{\circ},6$ т.-е. на $36^{\circ},2$ менѣе. Потерянная теплота поглщена льдомъ при превращеніи изъ твердаго въ жидкое состояніе. Очевидно, что еслибы эта теплота могла возвратиться, то ее было бы достаточно чтобы всю массу смѣси, или $231 + 276,6 = 507,6$ граммовъ воды, нагрѣть на $36^{\circ},2$. Ее было слѣдовательно $507,9 \times 36,2 = 18375$ единицъ. Раздѣливъ на 231, получимъ то количество тепла, которое поглощается единицею вѣса льда при 0° при обращеніи въ воду при 0° , а именно 79,5 единицъ (мытъ по точнѣйшимъ измѣреніямъ принимается 79,25).

Тотъ же выводъ изъ опыта Блэкка можно получить на основаніи нѣскольکو иного разсужденія, которое сдѣлаемъ въ общей формѣ. M единицъ вѣса воды при T° смѣшиваются съ m единицами вѣса льда при 0° . Получается по смѣшеніи $M + m$ единицъ воды при θ° . Опредѣлить скрытую теплоту льда. M единицъ воды охлажденныя отъ T° до θ° доставляютъ $M(T - \theta)$ единицъ тепла. Тепло это идетъ 1) на то чтобы растопить безъ измѣненія температуры m единицъ вѣса льда на что потребно mx единицъ тепла, гдѣ x скрытая теплота льда, 2) чтобы полученныя m единицъ вѣса воды при 0° нагрѣть до θ° , на что потребно $m\theta$ ед. тепла. Слѣдовательно $M(T - \theta) = mx + m\theta$, откуда и опредѣлимъ x .

3) Блэккъ повторилъ опытъ Фаренгейта, состоящій въ слѣдующемъ. Фаренгейтъ заключалъ въ небольшихъ стеклянныхъ шарикахъ выкипѣченную воду и закрывалъ отверстія, такъ что окружающій воздухъ не имѣлъ доступа, и выставлялъ шарики на морозъ. Оказалось что вода охлаждалась до -4° и болѣе, не превращаясь въ ледъ. Но если толкнуть сосудъ, то мгновенно часть воды замерзала, образуя губкообразную пропитанную водою массу льда. При этомъ температура смѣси поднималась до 0° . Этотъ опытъ свидѣтельствуетъ, что при обращеніи воды въ ледъ происходитъ отдѣленіе теплоты, обратное тому поглощенію, которое бываетъ при обращеніи льда въ воду. Скрытая теплота становится явною.

Депре охлаждалъ выкипѣченную воду въ термометрической трубкѣ и доводилъ ее въ жидкомъ видѣ до -20° . При этомъ вода охлаждающаяся ниже 0° продолжаетъ расширяться.

Приведемъ нѣсколько примѣровъ скрытой теплоты плавленія другихъ тѣлъ кромѣ воды:

Сѣра.	9,4 ед. тепла
Свинецъ. . . .	5,4 "
Висмутъ. . . .	12,6 "
Цинкъ.	28,1 "
Серебро. . . .	21,0 "

Таковы количества тепла потребныя для того чтобъ единицу всѣхъ этихъ тѣлъ обратить изъ твердаго въ жидкое состояніе.

§ 181. Холодящія смѣси. На поглощеніе тепла при обращенія тѣла изъ твердаго въ жидкое состояніе основывается объясненіе дѣйствія *холодящихъ смѣсей*. Если смѣшать снѣгъ съ солью, то замѣтимъ быстрое смачиваніе соли сопровождающееся образованіемъ жидкаго раствора, вслѣдствіе обращенія снѣга и соли изъ твердаго состоянія въ жидкое. Такъ какъ обращеніе это сопровождается поглощеніемъ тепла, то смѣсь быстро охлаждается, и температура можетъ понизиться до -20° (если взять, напримѣръ, двѣ части снѣга при 0° и одну часть соли при комнатной температурѣ). Смѣсь хлористаго кальція съ снѣгомъ доставляетъ еще болѣе значительное пониженіе температуры, которое можетъ, при нѣкоторыхъ условіяхъ, дойти до -50° .

§ 182. Калориметръ Лавуазье и Лапласа *). Затрудненія, ка-

*) Лавуазье, труды котораго составляютъ эпоху въ исторіи химіи, родился 1743 года въ Парижѣ въ достаточномъ семействѣ и съ 1768 года былъ членомъ Парижской Академіи Наукъ. Онъ разрушилъ ученіе о флогистонѣ и основалъ истинную теорію окисленія и горѣнія, давъ всѣмъ значеніе истиннаго орудія химическихъ изысканій. Собственное состояніе и занятія по табачному откупку давали ему средства для дорого-стоившихъ изысканій. Въ эпоху террора въ 1794 году дикими властителями судебъ тогдашней Франціи онъ казненъ вмѣстѣ съ другими откупщиками. За то только что былъ въ ихъ числѣ и посланъ на эшафотъ съ словами: «вамъ не нужно больше ученыхъ». Полное собраніе сочиненій Лавуазье издано французскимъ правительствомъ въ 1862 году подъ редакціей знаменитаго химика Дюма.

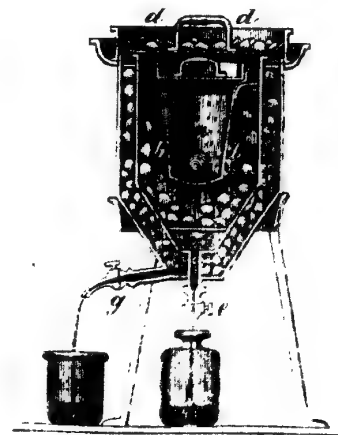
Лапласъ, славный авторъ *Небесной механики* и *Изложенія системы міра*, родился въ 1749 году въ Бомонѣ на Ожѣ. Въ юности отличался успѣхами въ древнихъ языкахъ и литературѣ и искусствомъ въ диспутахъ. Переселившись въ Парижъ онъ сдѣлался извѣстенъ какъ отличный математикъ и вступилъ въ

Академію Наукъ. Въ эпоху Наполеона I достигъ онъ такихъ почестей: былъ министромъ, канцлеромъ сената, главнѣйшимъ графомъ. Умеръ въ 1827 году.

кія на практикѣ представляетъ метода смѣшенія для опредѣленія удѣльной теплоты въ случаѣ тѣлъ, на которыя вода дѣйствуетъ растворяющимъ образомъ или химически, а особенно необходимость поправки отъ дѣйствія окружающей атмосферы, побудили Лавуазье и Лапласа (въ ихъ изслѣдованіяхъ о теплотѣ, сдѣланныхъ около 1780 г.) устроить калориметръ основанный на таяніи льда. «Представимъ себѣ въ воздухѣ, температура котораго выше 0° , пустую внутри сферу льда при 0° и внутри ея помѣстимъ нагрѣтое до извѣстнаго градуса тѣло;... внѣшняя теплота не проникнетъ во внутреннюю полость массы (она пойдетъ единственно на растопленіе внѣшняго слоя льда); теплота тѣла въ свою очередь не потеряется внѣ и остановится при внутренней поверхности полости, растопляя постоянно новые и новые слои льда пока тѣло дойдетъ до 0° . Самый снарядъ Лавуазье и Лапласа расположенъ какъ показано на фиг. 229. Происходящая отъ таянія вода вытекаетъ чрезъ отверстіе съ краномъ *e* и собирается въ подставленномъ сосудѣ. Ледъ помѣщенный между двойными стѣнками калориметра охраняетъ внутренний ледъ отъ дѣйствія окружающаго воздуха, такъ что таяніе внутреннего льда происходитъ единственно отъ теплоты отдѣляемой тѣломъ.

Вильке употреблялъ уже ледяной калориметръ, но затрудненія въ собираніи воды, происходящей отъ таянія, продолжительность опыта пока тѣло охладится до 0° и трудность предохранить внутреннюю полость отъ проникновенія наружнаго воздуха (для избѣжанія чего Лавуазье и Лапласъ и придумали двойныя стѣнки) заставили его оставить эту методу. Вообще хитрею точную чѣмъ метода смѣшенія, нынѣ по преимуществу употребляемая при точныхъ опредѣленіяхъ.

Не должно забывать, что при употребленіи ледянаго калориметра каждая единица всѣхъ растаявшаго льда соответствуетъ 79,3 единицамъ теплоты.



Фиг. 229

Академію Наукъ. Въ эпоху Наполеона I достигъ онъ такихъ почестей: былъ министромъ, канцлеромъ сената, главнѣйшимъ графомъ. Умеръ въ 1827 году.

§ 183. **Отвердѣніе тѣлъ при охлажденіи.** Жидкости при охлажденіи переходятъ въ твердое состояніе. Есть впрочемъ жидкости которыя при самой сильной степени охлажденія, какой можно нынѣ достигнуть (около -100°), остаются въ жидкомъ видѣ, хотя и значительно густѣютъ. Таковъ, на примѣръ, алкоголь. *Точка отвердѣнія или замерзанія* соответствуетъ той же температурѣ какъ *точка плавленія или таянія*. Мы говоримъ, что тѣло находится при точкѣ отвердѣнія или замерзанія, когда оно чрезъ охлажденіе переходитъ изъ жидкаго въ твердый видъ, *отдавая* теплоту, поглощаемую охлаждающими тѣлами, и сохраняя постоянную температуру.

§ 184. **Измѣненія объема тѣлъ при отвердѣніи.** Вода, преобразуясь въ ледъ, расширяется значительно, такъ что 13 литровъ (куб. дециметровъ) воды при 0° , превращаясь въ ледъ, даютъ 14 куб. дециметровъ льда. Свинецъ, сѣра, напротивъ, сжимаются, переходя изъ жидкаго въ твердое состояніе. Чугунъ и бронза расширяются, хотя и не такъ значительно какъ вода. Этимъ объясняется отчетливость съ какою они вылезаютъ въ формы.

Расширеніемъ воды при переходѣ изъ жидкаго состоянія въ ледъ объясняются многія явленія. Такъ, ледъ будучи легче холодной воды плаваетъ на ней; бутылка наполненная вся водою и плотно закупоренная лопається, когда вода въ ней замерзнетъ. Флорентинскіе академики производили много опытовъ надъ разрываніемъ стеклянныхъ и металлическихъ сосудовъ дѣйствіемъ замерзающей воды. Но особенно любопытны опыты, произведенные въ 1785 году въ Квебекѣ. Бомба 12 дюймовъ въ діаметръ (фиг. 230) разтреснулась по поламъ. При -17° Реомюра тяжелая металлическая пробка была выброшена за 60 футовъ, и изъ бомбы вышелъ ледяной цилиндръ четыре дюйм-

ма длиною. При -23° и наклонѣ 45° пробка была брошена за 400 футовъ.

Скважистые камни растрескиваются при морозѣ отъ замерзанія заключающейся въ нихъ влаги, почва разрыхляется, растенія гибнутъ отъ разрыва сосудовъ и клеточекъ и т. д.

§ 184. **Смерзаніе кусковъ льда.** Знаменитый англійскій ученый текущаго столѣтія, Фарадей



Фиг. 230.

(умеръ въ 1867 году) первый обратилъ вниманіе на любопытное явленіе смерзанія кусковъ льда. Если приложимъ одинъ къ другому два куска льда, при 0° и мокрые на своей поверхности, то они немедленно слипнутся; слой воды помѣщающійся между ледяныхъ стѣнокъ потеряетъ удобоподвижность частицъ и перейдетъ въ твердое состояніе: куски смерзнутся. Явленіе замѣчается не только въ воздухѣ, но и подъ водой, даже теплой, а также въ пустотѣ и не требуетъ чтобы куски нажимались одинъ на другой. Мелкій ледъ или снѣгъ, сухой и ниже 0° , не обнаруживаетъ смерзанія и имѣетъ качества обыкновеннаго песка. Смерзаніемъ объясняется скатываніе, въ оттепель, снѣжныхъ шаровъ, возможность переходить по снѣговымъ мостикамъ чрезъ трещины ледниковъ; дѣлѣ пластичность льда, позволяющая помощію сильнаго сдвиганія въ формахъ дать куску льда видъ шара, чечевицы, кольца и т. под.

Смерзаніемъ, наконецъ, англійскій ученый Тиндаль объясняетъ важное явленіе движенія ледниковъ. Ледяники образуются изъ снѣга, покрывающаго горныя высоты за такъ называемою *снѣжною линією* (въ

Альпахъ выше 8000 футовъ) и спускающагося внизъ, преобразуясь въ зернистый ледъ и затѣмъ въ сплошныя ледяныя массы наполняющія долины. Ледникъ представляетъ собою какъ бы ледяной потокъ, медленно текущій внизъ. Подъ сильнымъ давленіемъ выше лежащихъ частей, ледяная масса, трескиваясь и смерзаясь, поступаетъ внизъ, сохраняя форму ложбины куда вгоняется давленіемъ, и мѣстами обнаруживая трещины, дѣлающія столь затруднительнымъ переходъ чрезъ ледники.

§ 185. Нѣсколько подробностей о физическихъ свойствахъ льда. Ледъ есть тѣло кристаллическаго строенія. За постепеннымъ образованіемъ кристалловъ льда сплотняющихся постепенно въ общую массу, удобно слѣдить, наблюдая образованіе ледяного слоя на стеклахъ рамъ въ холодное время. Ледъ есть тѣло, имѣющее значительный коэффициентъ куб. расширенія (около $\frac{1}{63000}$). Теплоу льда проводитъ очень дурно (рѣчь, конечно, идетъ о распространеніи тепла во льдѣ ниже 0°, когда одна часть его менѣе холодна чѣмъ сосѣднія). Ледъ непроводникъ электричества. Холодный ледъ представляетъ довольно значительную твердость дозволившую въ 1740 построить въ Петербургѣ на Невѣ цѣлый ледяной домикъ, въ 9 сажень длиною при 3 ширины. Членъ Петербургской Академіи Наукъ, Крафтъ, въ *Описаніи ледяного дома* (1741), указавъ въ какой мѣрѣ состояніе тѣла зависитъ отъ температуры, говоритъ: „Ежели бы въ солнечномъ тѣлѣ жители обрѣтались, то бы они текущимъ желѣзомъ мыться и оное пить могли;.. жители которыхъ мы въ планетахъ Венерѣ и Меркуріи въ умѣ себѣ представить можемъ могли бы равнымъ образомъ свинецъ и олово употреблять;.. вода наша, которую мы по большей части видимъ какъ жидкое тѣло, въ планетѣ Сатурнѣ всегда бы была камень подобной твердостію мрамору, который бы однакожъ сіе свойство имѣлъ, чтобы отъ великаго огня растаять могъ... Ежели обрѣтаются въ оной планетѣ жители, которымъ бы нужда велѣла дома себѣ строить, то бы они конечно сей водяной камень на то употребляли... Но и здѣсь въ Санктпетербургѣ... мы видѣли изъ чистаго льда построенный домъ, который по правиламъ новѣйшей архитектуры расположенъ и для изряднаго своего вида и рѣдкости достоинъ былъ чтобы по крайней мѣрѣ таковожъ долго стоять какъ и наши обыкновенныя дома, или чтобы въ Сатурнѣ... перенесенъ былъ... Напередъ передъ домомъ стояло шесть ледяныхъ пушекъ. Изъ оныхъ неоднократно стрѣляли, въ которомъ случаѣ вложено въ нихъ пороху по четверти фунта, а притомъ посеконное или желѣзное ядро закидывали... Напоследокъ у воротъ стояли два дельфина и по-

моцію насосовъ огонь отъ зажженной нефти изъ челюстей выбрасывали, что ночью пріятную потѣху представляло... Самый домъ имѣлъ дверныя и оконныя косяки также и пилястры выкрашенные краскою на подобіе зеленаго мрамора... Въ каждомъ покоѣ по пяти оконъ, въ которыхъ какъ рамки такъ и стекла изъ тонкаго чистаго льда сдѣланы были... (Въ одномъ покоѣ) стоялъ уборный столъ, на которомъ находились зеркало, нѣсколько шандаловъ со свѣчами, которые по ночамъ будучи нефтью намазаны—горѣли;... (въ другомъ) кровать съ завѣсомъ, постелью, подушками и одеяломъ;... табуретъ и рѣзной работы комель, въ которомъ лежащая ледяная дрова нефтью намазанная многократно горѣли... На лѣвой сторонѣ дома, по обыкновенію сѣверныхъ странъ, изъ льду построена была баня, которая казалась будто бы изъ простыхъ бревенъ, сдѣлана была и которую нѣсколько разъ топили и дѣйствительно въ ней парились“. Домъ стоялъ съ января до исхода марта.

§ 186. Замерзаніе ртути. Что ртуть при сильномъ холодѣ можетъ замерзнуть, т.-е. обратиться въ твердое состояніе, открылъ членъ петербургской Академіи Наукъ Браунъ въ сильные холода зимою 1759 г. Смѣшавъ въ сильный морозъ смѣсь съ нѣкоторымъ количествомъ крѣпкой водки (аqua fortis, азотная кислота) Браунъ производитъ искусственный холодъ еще значительнѣйшій чѣмъ атмосферный. Опустивъ въ такую холодную смѣсь ртутный термометръ, онъ замѣтилъ что когда температура окружающаго воздуха была около -35° , колонна ртути опустилась такъ низко, что, еслибы по ея высотѣ судить о температурѣ смѣси, пришлось бы приписать ей -200° . „При видѣ такой поразительной степени холода, говоритъ Браунъ, я не хотѣлъ вѣрить глазамъ и думалъ что шарикъ термометра разбился. Но вынуть, къ удовольствію замѣтилъ, что термометръ цѣлъ. Но ртуть оставалась неподвижна около 12 минутъ, хотя термометръ былъ уже въ воздухѣ“. Браунъ пришелъ къ заключенію, что термометръ прекратилъ показанія потому что ртуть замерзла. Онъ оправдалъ это заключеніе, разбивъ шарикъ термометра и получивъ кусокъ ртути въ твердомъ видѣ. Ртуть замерзаетъ при -39° .

§ 187. Переходъ жидкостей въ газообразное состояніе или паръ. Жидкость переходитъ въ состояніе пара двоякимъ путемъ: 1) чрезъ *испареніе*, спокойно, безъ образованія пузырей; 2) чрезъ *кипѣніе*, сопровождающееся усиленнымъ движеніемъ и образованіемъ пузырей. Паръ есть газообразное состояніе жидкости. Паръ воды, подобно парамъ спирта, эфира и вообще большинства жидкостей, есть газъ невидимый; его не

должно смѣшиваться съ тѣмъ видимымъ состояніемъ въ какое паръ переходитъ при охлажденіи и которое въ просторѣчій именуется также паромъ. Такой видимый паръ или *туманъ* состоитъ изъ мельчайшихъ *жадныхъ* массъ, тогда какъ паръ въ собственномъ смыслѣ есть газъ.

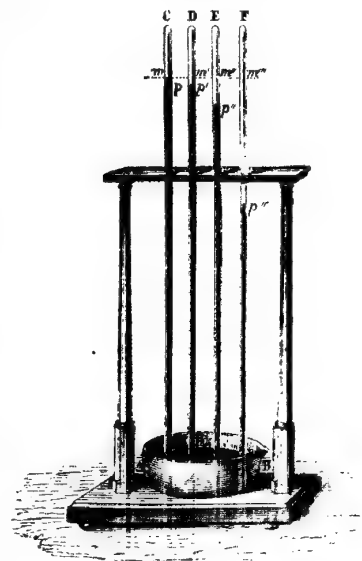
Когда жидкость испаряется въ воздухъ или вообще въ пространствѣ наполненномъ какимъ-либо газомъ, паръ ея смѣшивается съ этимъ газомъ. Въ атмосферномъ воздухѣ всегда распространено большее или меньшее количество водяного пара. О присутствіи его въ воздухѣ комнаты легко убѣдиться, принеся холодное тѣло, на поверхности котораго тотчасъ осѣдаетъ слой влаги. Для изученія пара въ отдѣльности, его должно бразовать въ пустотѣ.

§ 188. Испареніе въ пустотѣ, метода Дальтона. Если въ нѣкоторомъ безвоздушномъ пространствѣ, напирмѣръ подъ колоколомъ воздушнаго насоса, находится летучая жидкость, то она испаряется гораздо быстрѣе чѣмъ какъ испарялась бы еслибы сосудъ былъ помѣщенъ въ воздухѣ. Пока испареніе продолжается, и количество пара прибываетъ, давленіе его увеличивается; но скоро паръ достигаетъ предѣла своего давленія или своей упругости въ данномъ случаѣ, и испареніе прекращается. Паръ остается съ избыткомъ жидкости, неизмѣняясь въ своемъ количествѣ и давленіи. Мы говоримъ: пространство *насыщено* паромъ. Такъ какъ описанный процессъ происходитъ очень скоро, то всякій разъ когда въ данномъ безвоздушномъ пространствѣ замѣчаемъ нѣкоторое количество жидкости мы въ правѣ считать это пространство насыщеннымъ и паръ имѣющимъ наибольшую упругость возможную въ данномъ случаѣ. Для опредѣленія этой упругости, англійскій ученый Дальтонъ *), въ началѣ нынѣшняго столѣтія употреблялъ слѣдующій пріемъ, пользуясь

*) Дальтонъ, знаменитый англійскій химикъ (родился въ 1766 г.

вмѣсто колпака воздушнаго насоса барометрической пустотою Торричелли. „Я раздѣлялъ, говорятъ онъ, барометрическую трубку на дюймы и десятыя доли дюйма, отмѣчая дѣленія подпилкомъ; затѣмъ наливалъ въ нее жидкости, служившей для опыта, столько что внутреннія стѣнки трубки были ею смочены; наполнялъ трубку ртутью и опрокидывалъ (въ сосудъ со ртутью) осторожно чтобы воздухъ не проникъ. Когда полученный такимъ образомъ барометръ постоялъ нѣкоторое время, надъ ртутью собрался слой жидкости отъ $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{8}$ доли дюйма толщиною“. Пространство надъ оставшеюся въ избыткѣ жидкостью

наполнено паромъ. Объ упругости пара можно судить сравнивая высоту ртути въ барометрѣ, гдѣ надъ нею Торричеллиева пустота, съ высотой столба ртути въ трубкѣ гдѣ надъ нею паръ. Разность этихъ двухъ высотъ выражаетъ упругость пара. Опыты произведенные этимъ способомъ доказываютъ: 1) что упругость пара разныхъ веществъ при той же температурѣ различна; жидкости болѣе летучія имѣютъ и большую упругость, какъ видно,



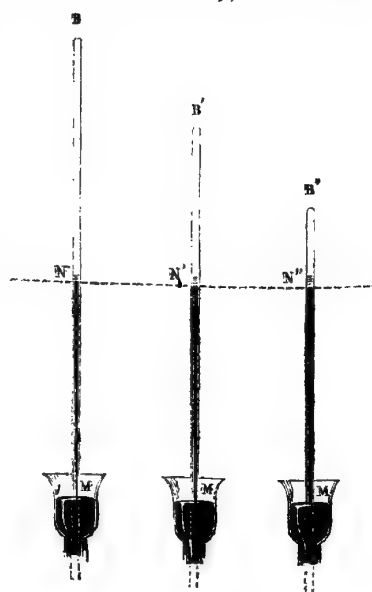
Фиг. 231

умеръ въ 1844), принадлежалъ къ сектѣ квакеровъ, былъ учителемъ въ Манчестерѣ, когда помощью самыхъ простыхъ приборовъ и при самыхъ скромныхъ средствахъ умѣлъ произвести изслѣдованія, доставившія ему извѣстность и почетъ. Основатель атомистической теоріи въ химіи. Не различалъ краснаго цвѣта съ зеленымъ (недостатокъ зрѣнія получившій названіе дальтонизма).

напримѣръ на фиг. 231, гдѣ рядомъ съ барометромъ *C* изображены три трубки заключающія въ себѣ: трубка *D* — воду, трубка *E* — спиртъ и трубка *F* — эфиръ. 2) Что упругость эта когда пространство насыщено есть дѣйствительно *наибольшая*, какую паръ можетъ имѣть при данной температурѣ. Еслибы, опуская трубку (фиг. 232), мы стали

уменьшать пространство надъ ртутью и слѣдовательно *сжимать* насыщающій паръ, то упругость бы его не увеличилась, ибо колонна ртути осталась бы на прежней высотѣ. Но за то слой жидкости утолщился бы; слѣдовательно часть пара возвратилась бы въ жидкое состояніе. И можно было бы опустить трубку такъ глубоко, что весь паръ обратился бы въ жидкость. Такимъ образомъ упругость пара, находящагося въ прикосновеніи съ

избыткомъ жидкости не зависитъ отъ величины занимаемаго имъ пространства (паръ насыщающій пространство не подчиняется закону Мариотта). Если бы стали подымать трубку, то количество жидкости уменьшалось бы, количество пара прибывало, но упругость его, а потому и высота ртути оставались бы, — пока есть избытокъ жидкости безъ, — перемѣны. Еслибы въ пространствѣ надъ ртутью былъ не паръ, а воздухъ или иной газъ, явленіе произошло бы иначе.

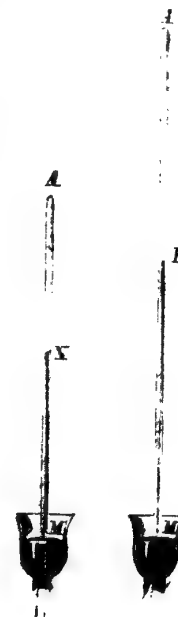


Фиг. 232.

При опусканіи трубки воздухъ, принужденный занимать меньшее и меньшее пространство, сжимался бы, его упругость возрастала бы и, какъ видимъ на фиг. 233, высота ртутной колонны сдвигалась бы меньше. Наоборотъ, при поднятіи трубки, ртутная колонна повысилась бы, вслѣдствіе разрѣженія воздуха. Если бы, и въ случаѣ пара, трубка была поднята такъ высоко, что вся жидкость испарилась бы, и надъ ртутью не осталось бы жидкаго слоя, то продолжая поднимать трубку, мы замѣтили бы повышеніе ртути, какъ въ случаѣ воздуха или газа. Паръ не насыщалъ бы болѣе пространство, и его упругость уменьшалась бы по мѣрѣ того какъ онъ занималъ бы болѣе и болѣе пространство. Паръ *ненасыщающій* пространство слѣдуетъ по отношенію къ расширенію и сжатію тому же закону какъ воздухъ и газы (закону Мариотта).

§ 189. Упругость пара насыщающаго пространство при разныхъ температурахъ. Описанные опыты мы предполагали произведенными при какой-либо данной неизмѣняемой температурѣ. Если температура измѣняется, то и количество жидкости превращающееся въ паръ до насыщенія даннаго пространства и упругость

пара также измѣняются, и притомъ весьма значительно. Еслибы мы перенесли снарядъ изображенный на фиг. 231 (стр. 245) изъ холодной комнаты въ теп-



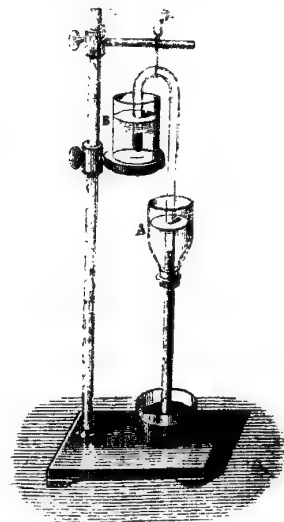
Фиг. 233.

лую, то высота ртути въ трубкахъ, особенно въ содержащей эфиръ, измѣнилась бы значительно. Упругость пара возрасла бы, и толщина жидкаго слоя надъ ртутью уменьшилась бы, свидѣтельствуя о томъ, что новое количество жидкости обратилось въ паръ. Если наоборотъ перенесемъ снарядъ изъ теплаго пространства въ холодное, то нѣкоторое количество пара немедленно *осаде́тъ*, слой жидкости надъ ртутью утолщится, и оставшійся паръ приобрететъ меньшую упругость соответствующую новой температурѣ. Наблюдая при разныхъ температурахъ высоту ртутной колонны въ барометрической трубкѣ съ жидкостью надъ ртутью, можно удобно измѣрить упругость пара этой жидкости при среднихъ температурахъ (отъ 0° и до температуръ близкихъ къ кипѣнію воды, если дѣлать опыты, окруживъ верхъ трубки оправою наполненною горячею водою).

§ 190. Упругость пара въ сообщающихся пространствахъ разной температуры. Представимъ себѣ два пустыхъ пространства разной температуры, находящіеся въ сообщеніи. Пусть въ тепломъ находится нѣкоторое количество жидкости. Жидкость испаряется, составляя паръ, стремящійся насытить это пространство. Но такъ какъ оно находится въ сообщеніи съ другимъ, холоднымъ, то часть пара переходитъ въ это послѣднее. Здѣсь паръ не можетъ имѣть упругость соответствующую теплomu пространству: она должна быть меньше. Оттого часть пара обращается въ жидкое состояніе. Такъ продолжается пока въ тепломъ пространствѣ остается избытокъ жидкости. Жидкость *дистиллируется* или *перегоняется*, обращаясь въ паръ въ тепломъ пространствѣ и возвращаясь въ холодномъ въ состояніе жидкости. Когда вся жидкость въ тепломъ пространствѣ перешла въ состояніе пара, нѣкоторое время продолжается переходъ пара изъ теплаго въ холодное пространство, именно до

тѣхъ поръ пока установится равновѣсіе давленій между паромъ наполняющимъ теплое пространство и паромъ находящимся въ холодномъ. Это будетъ, очевидно, когда паръ въ тепломъ пространствѣ разрежится на столько что упругость его сдѣлается равною упругости пара наполняющаго холодное пространство. Теплое пространство не будетъ, слѣдовательно, насыщено паромъ; общая же упругость будетъ равна *упругости насыщенія соответствующей температурѣ холоднаго пространства*.

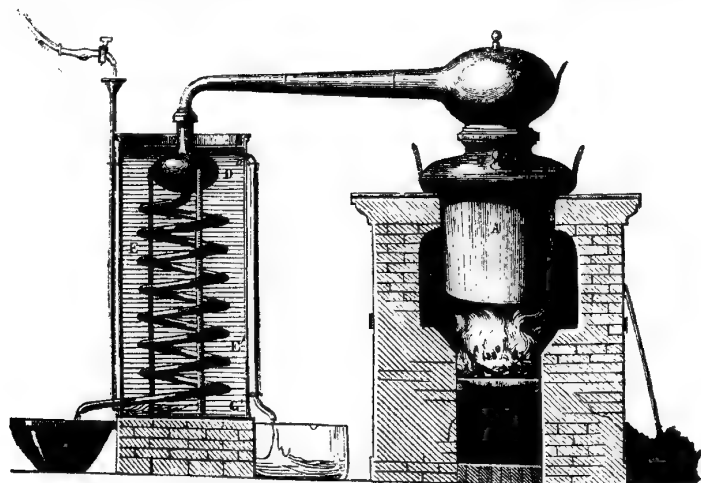
Слѣдующій опытъ подтверждаетъ указанное начало. Возьмемъ (фиг. 234) согнутую вверху барометрическую трубку, въ которой заключается ртуть, а надъ ртутью слой летучей жидкости, на примѣръ, эфира. Опустимъ конецъ *B* въ холодную воду, окруживъ часть *A* трубки сосудомъ съ теплою водою. Жидкость мало-по-малу изъ трубки перейдетъ въ холодное колено *B*, и высота ртутной колонны покажетъ, что паръ эфира имѣетъ упругость, соответствующую температурѣ холоднаго колѣна. Помощію подобныхъ опытовъ можно опредѣлять упругость пара при очень низкихъ температурахъ, не заключая всего снаряда въ холодное пространство, а только погруживъ конецъ трубки въ охлаждающую смѣсь.



Фиг. 234.

§ 191. Перегонка жидкостей въ практическомъ примѣненіи. Помощію *перегонки* или *дистилляціи* освобождаютъ жидкость

отъ твердыхъ частей въ ней растворенныхъ или отдѣляютъ одну отъ другой смѣшанные жидкости, если онѣ кипятъ при разныхъ температурахъ. Фиг. 235 даетъ понятіе о снарядѣ мо-

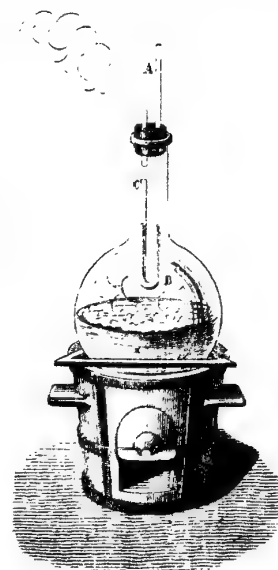


Фиг. 235.

гущемъ служить для перегонки воды съ цѣлью получить ее въ химически чистомъ видѣ (*дистиллированная вода*). Образующійся въ котлѣ А паръ сгущается въ *холодильникъ* DEE', состоящемъ изъ сосуда D и измѣнно изогнутой трубки (*змеевикъ*) EE', погруженныхъ въ холодную воду. Дистиллированная жидкость вытекаетъ изъ отверстія O. Твердые части бывшія въ ней въ растворѣ остаются въ котлѣ А. Расширенный верхъ котла служитъ къ тому, чтобы поднимающійся паръ успѣлъ отложить механически увлекаемые имъ частицы. Въ случаѣ перегонки смѣшанныхъ жидкостей (напримѣръ спирта съ водою), въ первый періодъ опыта получаютъ жидкость имѣющую низшую точку кипѣнія, слѣд. болѣе летучую,—спиртъ въ нашемъ примѣрѣ.

§ 192. Измѣреніе упругости пара при высокихъ температурахъ. Для опредѣленія упругости пара, насыщающаго пространство при высокихъ температурахъ прибѣгаютъ къ способу, основанному на явленіи *кипѣнія*. Въ § 151, говоря объ опытахъ надъ опредѣленіемъ точки кипѣнія на термометрѣ, мы

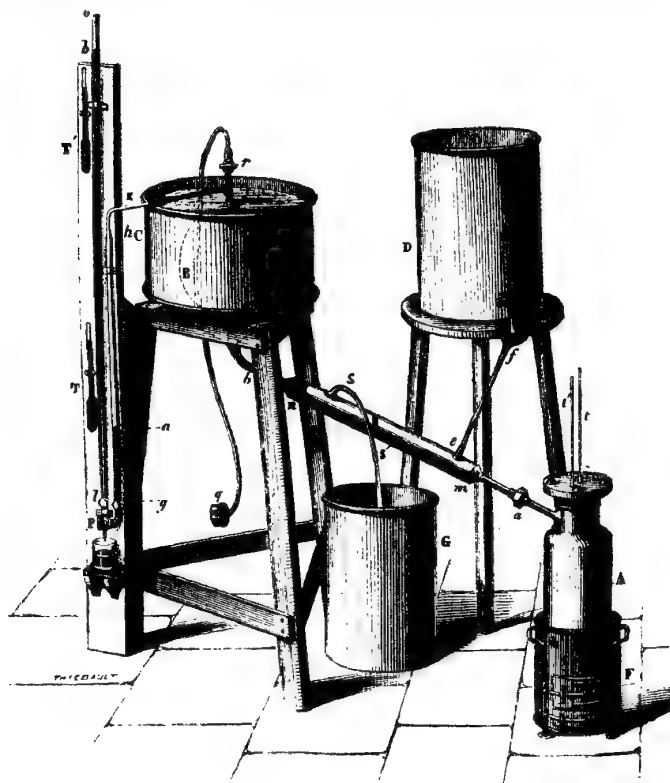
упоминали что паръ, поднимающійся съ поверхности кипящей воды (или иной жидкости), имѣетъ упругость равную давленію воздуха, въ которомъ происходитъ кипѣніе. Это доказывается тѣмъ что ртуть въ согнутой манометрической трубкѣ (фиг. 204 на стр. 194), присоединенной къ снаряду куда погруженъ термометръ, во все время кипѣнія стоитъ на одной высотѣ въ обоихъ колѣнахъ,—какъ въ открытомъ, чрезъ которое дѣйствуетъ атмосферное давленіе, такъ и въ сообщающемся со внутренностію сосуда, наполненнаго паромъ. Фиг. 236 представляетъ тотъ же опытъ въ нѣсколько измѣненной формѣ. Чѣмъ сильнѣе давленіе, тѣмъ выше температура, при которой жидкость приходитъ въ кипѣніе. И тогда какъ, напримѣръ, подъ давленіемъ одной атмосферы (760 мм.) вода кипитъ при 100°; подъ давленіемъ 10 атмосферъ (7600 мм.) она нагревается до 180° и кипѣть начинаетъ только при этой температурѣ. Доводя жидкость до кипѣнія въ пространствѣ наполненномъ сжатымъ воздухомъ подъ различными давленіями и наблюдая, во время кипѣнія, съ одной стороны температуру жидкости, съ другой давленіе подъ которымъ она находится, тѣмъ самымъ узнаемъ упругость ея пара, соответствующую наблюдаемой температурѣ, такъ какъ эта упругость равна давленію.



Фиг. 236.

Метода эта была въ большихъ размѣрахъ приложена Ренью къ опредѣленію упругости водяного пара, столь важному въ

практическомъ отношеніи, такъ какъ водяной паръ работаетъ въ паровой машинѣ. Въ послѣдствіи Реньйораспространилъ ее и на другія жидкости. Фиг. 237 даетъ понятіе о расположеніи



Фиг. 237.

снаряда Реньйо. Вода доводится до кипѣнія въ котлѣ А, гдѣ погружены термометры; котелъ сообщается съ резервуаромъ В съ сжатымъ воздухомъ, давленіе которе измѣряется открытымъ манометромъ ОРК. Чтобы паръ не переходилъ въ резервуаръ, трубка сообщаящая резервуаръ съ котломъ снаружи охлаждается потокомъ воды. Черезъ это паръ идущій изъ котла внутри ея постоянно осаждается и въ жидкомъ видѣ возвращается въ котелъ.

§ 193. Упругость пара воды, спирта и эфира. Чтобы дать понятіе о томъ какъ возрастаетъ, съ повышеніемъ температуры, упругость пара, насыщающаго пространство (находящаго-

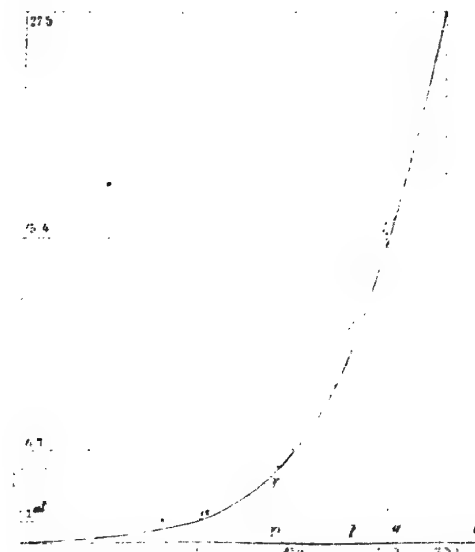
ся слѣд. въ прикосновеніи съ избыткомъ жидкости) приведемъ числа относящіяся къ случаю водянаго пара, алкоголя и эфира.

Температура. Упругость водянаго пара въ миллиметрахъ. Паръ алкоголя. Паръ эфира.

— 20°	0,9	3,3	69
— 10	2,0	6,5	115
0	4,6	12,7	184
10	9,2	24,2	287
20	17,4	44,5	433
40	54,9	134	907
60	149	350	1725
80	355	813	3023
100	760	1698	4953
120	1491	3232	7719

Упругость пара Соответствующая Въ случаѣ пара Въ случаѣ пара въ атмосферахъ. температур. въ случаѣ водян. пара. алкоголя. эфира.

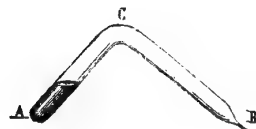
1	160°	78,4	35°
2	121	97	56
5	152	125	90
10	180		120
20	213		"



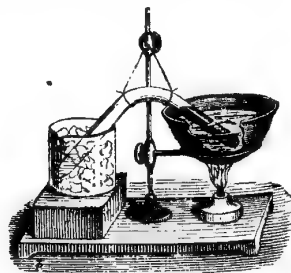
Фиг. 238.

Кривая изображенная на фиг. 238 наглядно представляет законъ возрастания упругости пара воды въ зависимости отъ температуры. На горизонтальной линіи обозначены температуры отъ 0 до 230°; ординаты кривой *dc*, *kp*, *st* и т. д. изображаютъ величину упругости въ атмосферахъ.

§ 194. Сравненіе паровъ и газовъ. Такъ какъ пары *ненасыщающіе* пространства, по физическимъ свойствамъ, не отличаются отъ газовъ, то самые газы можно разсматривать какъ пары находящіеся далеко отъ точки насышенія. Эта мысль подтверждается опытами, доказывающими что многіе газы при сильномъ охлажденіи или сдавливаніи могутъ быть обращены въ жидкое состояніе и только для нѣкоторыхъ изъ нихъ употреблявшіеся до нынѣ средства оказались недостаточными для обращенія въ жидкій видъ. Таковы: кислородъ, водородъ, азотъ и нѣкоторые другіе. Простѣйшая метода для обращенія многихъ газовъ въ жидкой видъ принадлежитъ Фарадею. Онъ употреблялъ согнутую стеклянную трубочку съ толстыми стѣнками (фиг. 239). Въ одно колено вводилъ вещество доставлявшее газъ, другой конецъ *B* запаивалъ. Конецъ *A* (фиг. 240) подогрѣвался, конецъ *B*



Фиг. 239.



Фиг. 240.

былъ опущенъ въ охлаждающую смѣсь. Развивающійся при *A* газъ переходитъ въ холодное колено, производя по мѣрѣ своего выдѣленія большее и большее давленіе. Охлажденный и сильно сдавленный газъ въ коленѣ *B* переходитъ въ жидкое состояніе. Такъ

можно было обратить въ жидкое состояніе хлоръ, аммоніакъ, сѣрнистый водородъ.

На томъ же началѣ сжатія газа собственнымъ давленіемъ, по мѣрѣ прибыванія его количества, вслѣдствіе образованія его чрезъ химическое разложеніе въ замкнутомъ пространствѣ, — основывается добываніе углекислоты въ жидкомъ видѣ. Открывъ кранъ резервуара, содержащаго жидкую углекислоту, получаютъ струю пара углекислоты; стремительное выходеніе этого пара сопровождается столь сильнымъ его охлажденіемъ, что въ подставленный, особо устроенный, ящикъ падаютъ какъ бы хлопья снѣга, которые, суть не что иное какъ углекислота въ твердомъ видѣ. Смѣшивая твердую углекислоту съ эфиромъ получается охлаждающая смѣсь самой низкой температуры, какая только могла быть достигнута: 108° ниже нуля. Наконецъ, газы могутъ быть обращаемы въ жидкое состояніе помощію сжимающаго нагнетательнымъ насосомъ, накачивающимъ газъ въ прочный металлическій сосудъ, погруженный въ снѣгъ или, лучше, въ охлаждающую смѣсь.

§ 195. Сравненіе упругости пара съ упругостію нагреваемого воздуха. Чтобы дать болѣе наглядное понятіе о возрастаніи упругости пара, по мѣрѣ возвышенія температуры, въ случаѣ если жидкость, доставляющая паръ находится въ избыткѣ, такъ что паръ насыщаетъ пространство, сравнимъ упругость пара воды съ упругостію нагреваемого воздуха. Представимъ себѣ пустое пространство, объемъ котораго есть, наприкладъ, одинъ куб. метръ, и въ которое введено количество воды, достаточное для насышенія его паромъ при температурѣ до какой идетъ опытъ: около 7 килограммовъ, еслибы, наприкладъ, опытъ простирался до 190°. Упругость пара при 0° едва равная 4,6 миллиметра (или 0,006 одной атмосферы) при 190° сдѣлается равною давленію 12,5 атмосферъ (или давленію ртутнаго столба въ 9,5 метровъ). Еслибы въ такомъ же пространствѣ былъ воздухъ, взятый при температурѣ 0° подъ давленіемъ одной атмосферы (его взято было бы слѣдоват. 1,293 килограмма), то при нагреваніи до 190° его упругость увеличилась бы только до 1,79 атмосферы (или 1,36 метра ртути). Еслибы, наконецъ, въ первомъ опытѣ количество воды было недостаточно для насышенія куб. метра паромъ при 190°; было бы, наприкладъ, ея только килограммъ, то упругость пара быстро возрастала бы пока паръ насыщаетъ пространство (въ нашемъ прикладѣ до 1,7 атмосферы при 115,5°), а съ этого предѣла возрастаніе упругости не отличалось бы отъ возрастанія упругости воздуха, и при 190° упругость была бы 2,26 атм. Сравнительный обзоръ упругостей удобно сдѣлать помощію слѣдующей таблицы, гдѣ въ первомъ столбцѣ означены температуры; во второмъ выраженное въ атмосферахъ давленіе 1,293 кил. воздуха, заключеннаго въ 1

куб. метръ; въ третьемъ давлении насыщающаго пара, выраженное тоже въ атмосферахъ; въ четвертомъ давлении пара если введенное количество воды есть килограммъ.

Темпера- тура.	Давление воздуха.	Давл. насыщ. пара.	Давл. пара насыщ. лишь до 115°	Давл. 7 кил. воздуха.
0°	1	0,006	0,006	5,4
50	1,18	0,12	0,12	6,4
100	1,36	1	1	7,4
120	1,44	2	1,9	7,8
150	1,55	4,8	2,1	8,6
180	1,66	10	2,2	9,0
190	1,7	12,5	2,26	9,2

Последній столбецъ показываетъ какъ возрасла бы упругость воздуха, первоначально сжатого при 0° до 5,4 атмосферъ и за тѣмъ нагреваемого (его заключалось бы въ такомъ случаѣ 7 килограммовъ въ кубическомъ метрѣ). Вообще видимъ, что тогда какъ возрастание упругости воздуха при нагреваніи идетъ сравнительно медленнымъ путемъ, упругость водянаго пара, крайне слабая при 0°, быстро возрастаетъ при нагреваніи, если только въ разсматриваемомъ пространствѣ есть избытокъ воды. Если вся вода превратилась въ паръ, нагреваніе же продолжается, то паръ не насыщаетъ болѣе пространства (онъ называется *подогрѣтымъ паромъ*) и его упругость возрастаетъ по тому же закону какъ упругость нагреваемого воздуха.

§ 196. Въсѣ кубическаго метра пара при разныхъ температурахъ. Водяной паръ легче воздуха взятаго при томъ давлении и той же температурѣ какъ и паръ. Гей-Люссака изъ своихъ опытовъ (произведенныхъ надъ паромъ при температурѣ около 90°, ненасыщавшимъ пространство и имѣвшимъ упругость значительно менѣе атмосфернаго давленія) нашелъ что отношеніе въсѣа даннаго объема пара къ въсу такого же объема воздуха при томъ же давлении и той же температурѣ есть $\frac{1}{6}$ (или 0,622). Тотъ же результатъ полученъ французскимъ химикомъ Дюма (нынѣ секретарь Парижской Академіи Наукъ) въ случаѣ пара насыщающаго пространство при атмосферномъ давлении. Если бы и во всѣхъ случаяхъ отношеніе это оставалось то же самое сравнительно съ воздухомъ, то-есть плотность была бы постоянною величиною $\frac{1}{6}$, то легко было бы вычислять, зная упругость пара, его въсѣ въ данномъ объемѣ при данной температурѣ. Исследования Реньйо показываютъ, что эту плотность при невысокихъ температурахъ дѣйствительно можно принимать постоянною, равною 0,622. Поэтому если хотимъ, напримеръ, опредѣлить въсѣ кубическаго метра водянаго пара при 40° въ случаѣ насыщенія (когда упругость есть слѣдов. 55 миллиметровъ), то достаточно, по формулѣ

мулѣ § 179 найти въсѣ кубическаго метра воздуха при 40° и давлении 55 миллиметровъ (когда онъ слѣдов. значительно рѣже, чѣмъ обыкновенный атмосферный воздухъ) и полученное число 0,08 килогр. помножить на 0,62. Получимъ 0,05 килогр. или 50 граммовъ. Въ томъ же пространствѣ при 190° заключается около 6 килограммовъ пара.

Вообще въсѣ кубическаго метра пара при температурѣ t° выражается, въ случаѣ насыщенія, когда упругость есть F миллиметровъ, формулою

$$Q = 1^k,293 \cdot \frac{F}{760} \cdot \frac{273}{273+t} \cdot 0,622$$

Если паръ не насыщаетъ пространство, то упругость его, которую назовемъ f , менѣе упругости насыщенія F . Въсѣ кубическаго метра будетъ

$$q = 1^k,293 \cdot \frac{f}{760} \cdot \frac{273}{273+t} \cdot 0,622$$

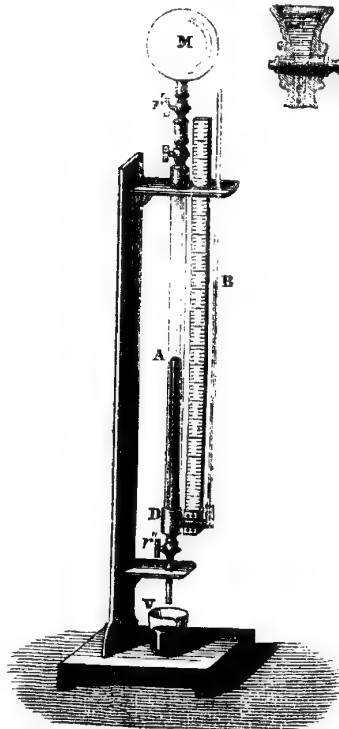
Видимъ что $Q:q = F:f$, то-есть что, при данной температурѣ, количество пара заключающагося въ опредѣленномъ объемѣ пропорціонально его упругости. Оно наибольшее когда паръ насыщаетъ пространство.

При высокихъ температурахъ количество пара насыщающаго данный объемъ нѣсколько болѣе того какое получается изъ вычисленія, основаннаго на допущеніи постоянства плотности пара.

§ 197. Испареніе въ воздухѣ и газахъ. Дальтонъ показалъ что если въ данномъ замкнутомъ пространствѣ, наполненномъ воздухомъ или инымъ газомъ подъ какимъ-либо давленіемъ, находится летучая жидкость, то она испаряется и даетъ изъ себя паръ, который, мало-по-малу, распространяется въ этомъ пространствѣ въ томъ же количествѣ и достигаетъ той же упругости какъ еслибы пространство это было пустое. Разница лишь въ томъ что насыщеніе пустаго пространства совершается весьма быстро, а пространства наполненнаго воздухомъ или газомъ медленно. Упругость смѣси газа и пара равняется суммѣ упругостей того и другаго, подобно тому какъ, при смѣшеніи въ данномъ пространствѣ нѣсколькихъ газовъ, общая упругость смѣси равняется суммѣ упругостей, какія имѣли бы въ отдѣльности

эти газы, еслибы каждый изъ нихъ лишь одинъ заключался въ данномъ пространствѣ.

Для нагляднаго оправданія вывода Дальтона Гей - Люссакъ устроилъ снарядъ изображенный на фиг. 241. Двукольная трубка *CBD* (кранъ *с* закрытъ) наполняется ртутью до верку колѣна *CD*, на верхнюю оправу котораго навинчивается баллонъ *M*, наполненный сухимъ воздухомъ или газомъ. Если открыть всѣ три крана снаряда, то воздухъ или газъ изъ баллона, по мѣрѣ истеченія ртути, станетъ входить въ верхнюю часть колонны *CD*. Когда вошло достаточное количество, закрываютъ кранъ *с* и доливаютъ черезъ открытое колѣно ртути на столько, чтобъ она въ обоихъ колѣнахъ стояла на одной высотѣ. Имѣемъ, слѣдовательно, въ верхней части колѣна *CD* воздухъ или газъ подъ атмосфернымъ давлениемъ. Отвинтивъ баллонъ, навинчиваютъ кранъ *K* (нѣсколько увеличенно изображенный съ боку полиптишажа) не съвязной, а только съ выемкой. Наливъ жидкости въ чашечку *C* и послѣдовательно поворачивая кранъ *R* не трудно ввести нѣкоторое количество жидкости въ верхнюю часть колѣна *CD*. Жидкость испарится и, если введено ея достаточное количество, насытитъ воздухъ или газъ и останется въ избыткѣ надъ ртутью. Ртуть въ колѣнѣ *CD* нѣсколько опустится. Но приливъ ртути черезъ открытое колѣно, можно довести ея колонну въ колѣнѣ *CD* до прежней высоты *A*. Тогда воздухъ или газъ будетъ приведенъ въ прежнему объему и разность высотъ ртути при *A* и *B* покажетъ на сколько упругость смѣси воздуха или газа съ паромъ, доставленнымъ жидкостью введенною въ избыткѣ, превышаетъ, при томъ же объемѣ, упругость одного воздуха или газа. Окажется, что эта разность высотъ равняется высотѣ



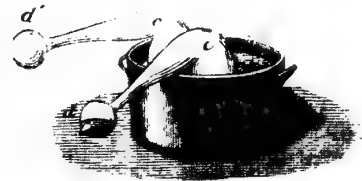
Фиг. 241.



ртутнаго столба, выражающаго упругость пара, насыщающаго безвоздушное пространство при температурѣ опыта. Разность высотъ *A* и *B* при 20° была бы, напримеръ, въ случаѣ эфира 433 миллиметровъ, ибо такова упругость пара эфира насыщающаго пространство при 20°.

Изъ доказаннаго начала слѣдуетъ: 1) что, при вычисленіи вѣса пара заключающагося въ данномъ объемѣ воздуха или газа, должно разсуждать такъ какъ если бы паръ одинъ наполнилъ этотъ объемъ; 2) что вѣсъ объема *V* смѣси воздуха или газа съ паромъ, — въ случаѣ если общее ея давленіе есть *H*, упругость же собственно пара *f*, — есть сумма вѣса объема *V* сухаго воздуха или газа подъ давленіемъ *H* — *f* и вѣса объема *V* пара подъ давленіемъ *f*.

Замедленіе парообразованія вслѣдствіе давленія воздуха на поверхность жидкости можно замѣтить, наблюдая перегонку жидкости, напримеръ эфира, въ снарядѣ наполненномъ воздухомъ сравнительно съ перегонкою въ пустомъ снарядѣ. Шарикъ *d* (фиг. 242) стеклянной реторты, изъ которой воздухъ выгнанъ предварительнымъ кипяченіемъ эфира (шаръ *d* выходитъ черезъ маленькое отверстіе шарика *d* потомъ запаянное) и которая погружена въ теплую воду, быстро наполняется дистиллирующимся эфиромъ тогда какъ въ шарикъ *d* реторты наполненной воздухомъ жидкость перегоняется медленно.



Фиг. 242.

Относительно быстроты испаренія воды въ сосудѣ подъ открытымъ воздухомъ, Дальтонъ показалъ что количество испаряющейся въ данное время жидкости прямо пропорціонально поверхности испаренія и разности упругостей пара *F* — *f* (гдѣ *F* упругость соответствующая насыщенію при температурѣ опыта, *f* упругость какую паръ дѣйствительно имѣетъ въ данномъ случаѣ), и обратно пропорціонально атмосферному давленію.

§ 198. Явленія сопровождающія кипѣніе жидкостей. Кипѣніе есть болѣе или менѣе стремительное образованіе пара, въ формѣ пузырей поднимающихся изнутри жидкости и лопающихся на ея поверхности. Чтобы паръ могъ образоваться внутри жидкости необходимо, чтобъ упругость его не была менѣе давленія сжимающаго этотъ пузырь извнѣ, то есть совокупнаго давленія атмосферы и столба жидкости

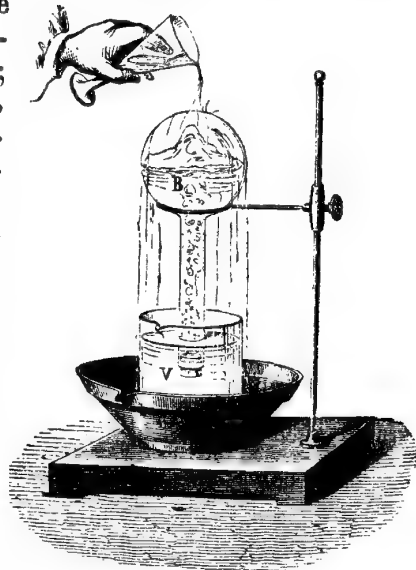
выше уровня пузыря (предполагаемъ жидкость въ открытомъ сосудѣ). Для выполненія этого условія, жидкость и паръ доставляемый ею должны достигнуть известной температуры, зависящей отъ того давления подъ которымъ происходитъ кипѣніе. Такъ, если жидкость въ открытомъ сосудѣ, когда барометръ показываетъ 760 милл. имѣетъ температуру 50°, то, очевидно, внутри ея не можетъ быть пузырь пара, ибо наибольшая упругость пара при 50° равняется 92 миллиметрамъ ртути, и такой пузырь сжимаемый извнѣ силою превышающею 760 миллиметровъ ртути тотчасъ обратился бы въ воду. Но если температура жидкости превыситъ нѣсколько 100°, упругость пара возрастетъ такъ что уравновѣситъ внѣшнее давление. Подымаясь вверхъ въ менѣе нагрѣтое пространство (нагрѣваніе, по предположенію, происходитъ снизу), паръ заключающійся въ пузырьѣ охладится, и внѣшнее давление, превысивъ его упругость, тотчасъ обратитъ его въ жидкое состояніе. Такъ бываетъ предъ началомъ кипѣнія: пузыри не достигаютъ поверхности, и быстрое превращеніе пара въ жидкость сопровождается образованіемъ пустоты стремительно замѣщаемой жидкостью; отсюда малые удары изъ которыхъ слѣдуетъ шумъ закипанія. Наконецъ, вся жидкость пріобрѣтаетъ надлежащую температуру, пузыри достигаютъ поверхности и, допаясь, распространяютъ паръ въ воздухѣ. Въ моментъ выдѣленія, паръ имѣетъ упругость нѣсколько превышающую давление воздуха и вытѣсняетъ его мало-по-малу изъ сосуда, если какъ на фиг. 204 или 237 сосудъ этотъ оканчивается вверху каналомъ. Весь сосудъ наполняется паромъ, замѣщающимъ выгнанный воздухъ и устанавливается родъ равновѣсія между окружающею атмосферой и паромъ наполняющимъ сосудъ; малый избытокъ давления со стороны пара производятъ слабый потокъ пара изъ отверстія сосуда

наружу, причемъ, отъ охлажденія, паръ обращается въ маленькія жидкія частицы, образуя видимый туманъ.

Мы указали условіе при которомъ паръ можетъ находиться внутри жидкости въ формѣ пузыря. Обратимся къ условіямъ, отъ которыхъ зависитъ первоначальное образованіе такого пузыря. Чтобы нѣкоторая часть жидкости внутри ея массы перешла въ состояніе пара недостаточно одного возвышенія температуры до той степени, когда паръ можетъ уравновѣсить давление въ томъ мѣстѣ гдѣ образуется. Есть опыты, свидѣтельствующіе что вода, напримѣръ, можетъ дойти до значительно болѣе высокой температуры, не обращаясь въ паръ. Если помѣстить каплю воды (какъ сдѣлалъ г. Донни по совету Фарадея) въ смѣси маслъ, приготовленной такъ что плотность ея равна плотности нагрѣтой воды, то капля эта останется взвѣшенной, не падая внизъ и не подымаясь. Такую смѣсь можно нагрѣть до 120° и болѣе, и вода сохранитъ жидкій видъ, не обращаясь въ паръ; но если коснуться капли металлическою проволокою, стекляннымъ или деревяннымъ прутикомъ, тотчасъ послѣдуетъ стремительное парообразованіе, какъ бы небольшой взрывъ. Есть основаніе полагать, что существенное условіе образованія пузыря въ жидкой массѣ есть воздухъ растворенный въ водѣ, который, выдѣляясь при нагрѣваніи, образуетъ ядро пузыря, наполняющагося паромъ, доставляемымъ чрезъ испареніе его жидкими стѣнками. Если продолжительнымъ кипѣніемъ выгнать воздухъ изъ согнутой трубки конецъ которой наполненъ водою, и зажавъ ее, погрузить въ масляную ванну, то можно нагрѣть конецъ до 137° и жидкость, испаряясь и переходя въ холодный конецъ, не обнаружитъ кипѣнія. Но когда температура превыситъ 137°, жидкая колонна стремительно раздѣлится и часть ея выбрасывается въ шарикъ на другомъ концѣ, нерѣдко разбивая его.

Чѣмъ значительнѣе давление, подъ которымъ находится жидкость, тѣмъ, очевидно, болѣшую упругость долженъ имѣть паръ, чтобъ онъ могъ образовать пузырь внутри жидкости. Этимъ и объясняется почему температура кипѣнія тѣмъ выше чѣмъ значительнѣе давление, и наоборотъ, почему кипѣніе наступаетъ тѣмъ ранѣе чѣмъ меньше давление испытываемое жидкостію. Вода, которая при подошвѣ Монъ-Блана кипитъ при 100°, на его вершинѣ закипаетъ при 85°. Опытъ изображенный на фиг. 243 принадлежитъ къ числу наглядныхъ доказательствъ зависи-

мости точки кипѣнія отъ давленія. Наливъ въ колбу воды, кипятятъ ее нѣкоторое время, чтобы выгнать воздухъ; потомъ закрываютъ пробкой и, опрокинувъ, погружаютъ отверстиемъ въ воду. Получаемъ опрокинутую колбу, нижняя часть которой наполнена водой, а въ верхней находится паръ, образующій родъ искусственной атмосферы давящей на поверхность жидкости. Охладивъ сводъ опрокинутой колбы, охлаждаемъ вмѣстѣ и паръ. Упругость его увеличивается; онъ съ меньшею силою давитъ на воду, и она приходитъ въ кипѣніе, хотя температура ея стала уже значительно ниже 100°.

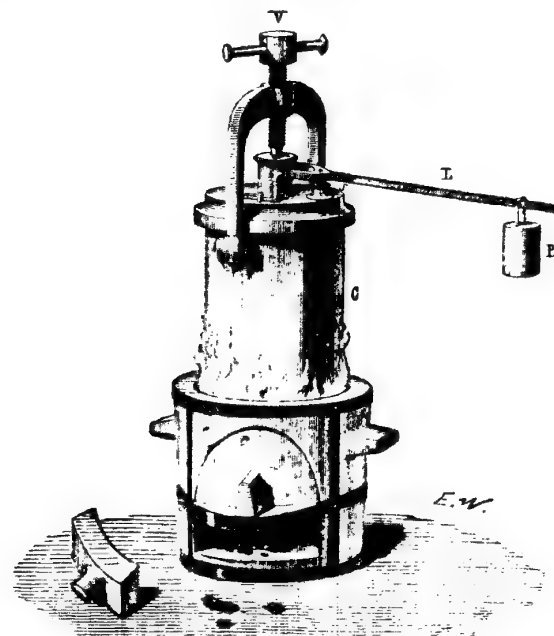


Фиг. 243.

§ 199. Паниновъ котелъ. Французскій ученый Панинъ, жившій въ Лондонѣ *), изобрѣлъ котелъ позволяющій нагрѣть воду значительно выше обыкновенной точки кипѣнія, не давая ей обращаться въ паръ. Для этого онъ снабдилъ цилиндрическій мѣдный котелъ, до половины налитый водой, плотно прилегающею крышкою, крѣпко нажимая ее винтомъ и положивъ

*) Родился около 1650 года во Франціи, которую покинулъ послѣ отмены Нантскаго эдикта; въ Голландіи былъ ученикомъ Гюгенса; затѣмъ поселился въ Англію, откуда былъ приглашенъ профессоромъ въ Марбургъ, гдѣ и умеръ въ 1710 году. Панинъ занимаетъ видное мѣсто въ исторіи приложенія пара къ движущимъ машинѣ.

нѣсколько мягкой бумаги между ею и котломъ. При нагрѣваніи, паръ насыщающій верхнюю часть котла, не имѣя исхода, образуетъ искусственную атмосферу, давленіе которой быстро возрастаетъ по мѣрѣ возвышенія температуры. А такъ какъ температура кипѣнія подымается съ увеличеніемъ вѣшняго давленія, то вода, оставаясь жидкою, нагрѣвается значительно выше 100°. Голландскій ученый первой половины XVIII вѣка, Мушенбрёкъ, разогрѣвалъ воду до такой степени, что повѣшенные внутри на проволокахъ кусочки олова и свинца расплавились. Панинъ употреблялъ свой снарядъ чтобы разваривать кости, рога, черепахи, готовить экстракты и т. под. Въ крышкѣ (фиг. 244) находится не-



Фиг. 244.

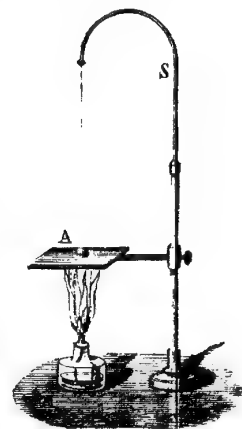
большое отверстие откуда паръ можетъ выходить. Оно закрыто металлическою пробкой удерживаемою рычагомъ *L* обремененнымъ грузомъ *P* и образующею собою предохранительный клапанъ. Когда внутри давление дойдетъ до такой степени, что давление пара будетъ уравновѣшиваться силою прижатія рычага, то кипѣніе сдѣлается правильнымъ, и температура постоянною, ибо какъ скоро упругость пара увеличится, онъ приподыметъ клапанъ и будетъ выходить наружу пока возстановится равновѣсіе. Чѣмъ больше обремененъ рычагъ, то-есть чѣмъ далѣе отодвинутъ грузъ *P*, тѣмъ выше, очевидно, температура до какой можно довести воду.

§ 200. Опыты съ нагреваніемъ жидкостей въ запаянныхъ трубкахъ. Опыты Коньяра де-Латура и Андрюса. Размышляя объ опытахъ съ Папиновымъ котломъ, въ которомъ можно нагревать жидкость значительно выше точки кипѣнія, не превращая ее въ паръ, Коньяръ де-Латуръ (въ 1822 г.) задалъ себѣ вопросъ: „если продолжать возвышеніе температуры, то не наступитъ ли моментъ, когда расширеніе жидкости достигнетъ предѣла, и она, не смотря на сжатіе, вся перейдетъ въ состояніе пара“. Онъ заключилъ въ небольшой Папиновъ котель, сдѣланный изъ толстаго ружейнаго ствола, нѣкоторое количество алкоголя и вложилъ каменный шарикъ. Жидкость занимала около трети вмѣстимости снаряда. Замѣтилъ какой звукъ производилъ шарикъ, катаясь внутри снаряда; затѣмъ сильно нагрѣлъ стволъ. Наступилъ моментъ, когда звукъ измѣнился, и шарикъ „отскакивалъ при каждомъ толчкѣ такъ какъ еслибы жидкости внутри ствола не было“. Коньяръ де-Латуръ заключилъ что вся жидкость обратилась въ паръ. Чтобы повѣрить заключеніе и сдѣлать опытъ доступнымъ глазу, онъ ввелъ нѣкоторое количество алкоголя въ стеклянную трубку которую и запаялъ. Жидкость занимала около $\frac{1}{2}$ вмѣстимости трубки. Когда, при нагреваніи, жидкость расширилась до той степени что объемъ ея возросъ вдвое, наступилъ моментъ когда она исчезла для глазъ, вся обратившись въ паръ. При охлажденіи, образовывалось какъ бы густое облако и затѣмъ появлялась жидкость въ прежнемъ видѣ. Изъ послѣдующихъ опытовъ Коньяръ де-Латуръ убѣдился что спиртъ весь обращается въ паръ въ пространствѣ вътрое большемъ своего первоначальнаго объема, оказывая давление около 120 атмосферъ, при температурѣ около 260°. Опыты надъ водой были весьма затруднительны, ибо при возвышенной температурѣ, вода дѣйствовала на стѣнки трубки,

лишая ихъ прозрачности. Прибавивъ къ водѣ немного углекислой соды, Коньяръ де-Латуръ избѣгъ этого неудобства и съ большимъ трудомъ (трубки часто лопались) убѣдился что вода вся обращается въ паръ въ пространствѣ въчетверо большемъ ея первоначальнаго объема и при температурѣ плавленія цинка (360°).

Въ послѣднее время Г. Андрюсъ (Andrews) нашелъ что при нагреваніи жидкой угольной кислоты до 31° въ запаянной трубкѣ линія раздѣленія между жидкостью и ея паромъ становится менѣе и менѣе замѣтною и наконецъ исчезаетъ. При температурѣ выше 31°, сколько бы ни увеличивать давление (до 300 и даже до 400 атмосферъ) паръ угольной кислоты не обращается въ жидкость. Эту температуру Андрюсъ именуетъ критическою точкою. Она различна для различныхъ паровъ. Ниже критической точки сжатіе раздѣляетъ паръ на два слоя, жидкій и газообразный. При критической точкѣ и выше онъ представляетъ при сжатіи однообразную массу, о которой нельзя сказать жидкая она или газообразная. Такъ, при 35°,5 объемъ сжимаемой углекислоты уменьшается, когда давление достигаетъ 108 атмосферъ въ 430 разъ противъ объема какой она имѣла находясь подъ давленіемъ одной атмосферы; но это сжатіе происходитъ съ полною постепенностью и угольная кислота во все время остается однообразною массою. Но если понизитъ температуру ниже 31°, она обращается въ жидкое состояніе безъ замѣтнаго измѣненія въ объемѣ и термическомъ состояніи.

§ 201. Сфероидальное состояніе. Если уронить каплю воды, алкоголя, эфира и т. п. на сильно нагрѣтую поверхность, напримѣръ на раскаленную или по крайней мѣрѣ очень разогрѣтую (выше 140° въ случаѣ воды) металлическую дощечку, то капля эта бѣгаетъ по поверхности, сохраняя сфероидальную форму, и медленно испаряется, не приходя въ кипѣніе. Если помощію тонкой проволоки (фиг. 245) опущенной въ каплю удержать ее на мѣстѣ, и помѣстить глазъ противъ свѣта, направивъ лучъ по направленію дощечки поста-



Фиг. 245.

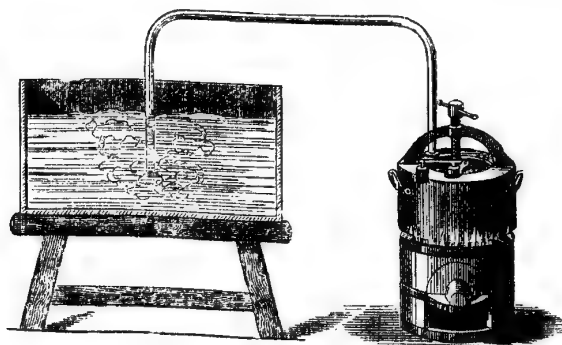
вленной горизонтально, то легко замѣтить что капля не касается поверхности, и между ними замѣтенъ просвѣтъ. Нагрѣваніе капли происходитъ, слѣдовательно, не чрезъ прикосновеніе, а лучистымъ дѣйствіемъ на разстояніи, и слой пара служитъ какъ бы мягкой подушкой поддерживающей каплю, температура которой не достигаетъ точки кипѣнія. Есть жидкости которыя кипятъ при температурѣ ниже 0°. Если капнуть такую жидкость на разогрѣтую пластинку или налить небольшое ея количество въ раскаленный платиновый тигель, то она придетъ въ сфероидальное состояніе, и мы будемъ имѣть въ раскаленномъ тиглѣ массу жидкости, температура которой ниже 0°. Такъ, французскій ученый Бутиньи приводилъ жидкую сѣрнистую кислоту въ сфероидальное состояніе въ раскаленномъ платиновомъ тиглѣ (точка кипѣнія сѣрнистой кислоты — 10°) и опустивъ въ нее трубочку съ водою, замораживалъ воду въ такомъ раскаленномъ сосудѣ. Фарадей, замѣнивъ сѣрнистую кислоту смѣсью твердой угольной кислоты съ эфиромъ и воду ртутью, замораживалъ ртуть въ раскаленномъ тиглѣ. Какъ скоро металлъ охладится ниже извѣстнаго предѣла (въ случаѣ воды ниже 140°) жидкость приходитъ въ кипѣніе и стремительно обращается въ паръ. Явленіе имѣетъ причину, повидимому, въ томъ обстоятельстве, что при высокой температурѣ вода перестаетъ смачивать металлъ и потому образуетъ на поверхности его каплю, какъ ртуть на поверхности стекла. На явленіе сфероидальнаго состоянія первый обратилъ вниманіе германскій ученый прошлаго столѣтія Лейденорстъ.

§ 202. Скрытая теплота пара. Блэккъ, открывшій скрытую теплоту плавленія, есть также основатель ученія о скрытой теплотѣ пара. Онъ принялъ во вниманіе: 1) Медленность, съ какою доведенная до кипѣ-

нія вода превращается въ парообразное состояніе. Опытъ показалъ Блэкку что потребно приблизительно вшестеро болѣе времени дабы данное количество кипящей воды превратить въ паръ, чѣмъ сколько потребно чтобы это количество нагрѣть отъ 10° до температуры кипѣнія. Потому, если допустить, что въ продолженіе выкипанія сосудъ получалъ столько же теплоты сколько входило въ него когда онъ нагрѣвался отъ 10°, до 100°, то окажется, что для превращенія въ паръ, путемъ кипѣнія, единицы вѣса воды потребно вшестеро болѣе единицъ теплоты, чѣмъ сколько требуется для нагрѣванія ея на 90°; т.-е. $90 \times 6 = 540$ единицъ (число близкое къ найденному потомъ точными изслѣдованіями). 2) Постоянство точки кипѣнія, т.-е. то обстоятельство что, съ момента какъ жидкость закипѣла, температуру ея нельзя болѣе повысить, какъ бы ни усиливали нагрѣваніе; кипѣніе дѣлается стремительнѣе, парообразование быстрое, но температура не повышается: теплота входитъ, не производя повышенія температуры, ибо, очевидно, согласается процессомъ парообразования. 3) Значительность количества теплоты, какое, при перегонкѣ, паръ, обращаясь въ холодильникъ въ жидкость, сообщаетъ водѣ холодильника: паръ принимая вновь жидкое состояніе какъ бы возвращаетъ теплоту, поглощенную при его образованіи. Изъ этихъ опытовъ Блэккъ, руководствуясь аналогіей съ тѣмъ что бываетъ при обращеніи твердаго тѣла въ жидкое состояніе, заключилъ что жидкость, превращаясь въ паръ, поглощаетъ значительное количество тепла, которое онъ наименовалъ *скрытою теплотою пара*, желая тѣмъ выразить что теплота эта скрыто присутствуетъ въ парѣ, вслѣдствіе чего паръ охладясь доставляетъ теплоты въ нѣсколько разъ болѣе чѣмъ сколько доставляетъ такое же по вѣсу количество жидкости той же температуры. „Когда я обращалъ въ умъ эту мысль (о скрытой теп-

лотъ пара), говоритъ Блэкъ, со всѣхъ сторонъ приходило ко мнѣ убѣжденіе, что количество тепла, заключающееся въ парѣ должно быть гораздо больше того какое обнаруживается чрезъ его явную теплоту или температуру. Каждый знаетъ обжигающую силу пара. Мгновенная струя его изъ носика чайнаго котла, едва увлажжающая руку и содержащая воды не болѣе четверти капли, тотчасъ всю руку покрываетъ пузырями обжоба, что не могли бы произвести тысячи капель кипящей воды. Кого не удивляло огромное количество тепла, замѣчаемаго въ холодильникѣ при обыкновенной перегонкѣ? При перегонкѣ спирта, снабженіе холодильника постояннымъ притокомъ холодной воды не рѣдко винокурамъ стоить не менѣе труда и издержекъ какъ снабженіе ихъ печей топливомъ. Устройство такихъ заводовъ въ большихъ городахъ, гдѣ въ другихъ отношеніяхъ было бы наиболѣе удобства, встрѣчаетъ препятствіе именно въ затрудненіи имѣть достаточное количество холодной воды. Чѣмъ болѣе я думалъ объ этихъ предметахъ, тѣмъ удивительнѣе мнѣ казалось, какъ такая общеизвѣстная вещь не превлекла на себя вниманія и осталась не замѣченной.

Фиг. 246. представляетъ снарядъ для нагреванія



Фиг. 246.

воды теплотою сгущающагося пара. Паръ образуется въ котлѣ при болѣе или менѣе высокой температурѣ и, проведенный въ ванну, сгущается, нагревая значительное количество воды.

Скрытая теплота водянаго пара при температурѣ кипѣнія подъ атмосфернымъ давленіемъ, т.-е. количество тепла потребное для того чтобы килограммъ воды при 100° обратить въ паръ при той же температурѣ, есть 537 единицъ тепла.

Скрытая теплота спирта при температурѣ 78° (точка кипѣнія спирта подъ давленіемъ атмосферы) есть 214 единицъ. Скрытая теплота эфира при 47° (температура его кипѣнія подъ давленіемъ атмосферы) есть 90 единицъ тепла.

Точное опредѣленіе скрытой теплоты пара основывается на методѣ перегонки (о процессѣ перегонки говорено въ § 186 и фиг. 232 даетъ понятіе о томъ какъ производится опытъ). Жидкость доводится до кипѣнія и образующійся изъ нея паръ проводится въ холодильникъ погруженный въ воду сосуда, представляющаго собою большой калориметръ. Паръ, обращаясь въ жидкое состояніе, отдаетъ теплоту которая и нагреваетъ воду калориметра, пока установится равновѣсіе температуры между ею и холодильникомъ съ собравшеюся въ немъ жидкостью. Наблюдая повышеніе температуры воды и свѣсивъ количество жидкости осѣвшее въ холодильникѣ можно опредѣлить количество теплоты доставляемой даннымъ вѣсомъ пара при обращеніи въ жидкое состояніе въ условіяхъ опыта. Такъ какъ въ концѣ опыта мы получаемъ тѣло въ томъ же самомъ состояніи въ какомъ оно было въ началѣ (можно допустить что жидкость въ котлѣ, когда ее начали нагревать, имѣла именно ту температуру при какой получаемъ ее въ холодильникѣ) и такъ какъ кромѣ процесса парообразованія и осажденія, совершившагося въ замкнутомъ пространствѣ, никакихъ иныхъ дѣйствій не произошло, то мы въ правѣ заключить, что въ калориметрѣ при обращеніи пара въ жидкость собрано именно то количество тепла какое было въ котлѣ потрачено при превращеніи жидкости въ паръ. Главное экспериментальное затрудненіе методы въ томъ чтобы паръ не охладился на пути отъ котла къ холодильнику.

Устроивъ котелъ и холодильникъ такъ чтобы они могли вынести значительное внутреннее давленіе, нагоняютъ въ нихъ сжатый воздухъ. Воздухъ этотъ образуетъ, въ пространствѣ свободномъ отъ жидкости, какъ бы искусственную спѣную давящую атмосферу, въ которой происходитъ образованіе и сгущеніе пара. Производя опыты точно также какъ въ случаѣ простаго атмосфернаго давленія можно опредѣлить скрытую

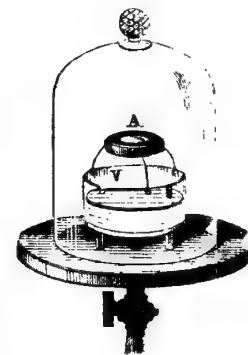
теплоту пара, образующагося изъ жидкости нагрѣтой выше температуры при которой она кипитъ подъ атмосфернымъ давленіемъ, выше 100° въ случаѣ воды. Произведенные по указанному способу опыты Реньйо показали что для обращенія килограмма воды при 100° въ паръ при ста же градусахъ потребно 537 единицъ тепла. Если прибавимъ къ этому числу 100 единицъ (что приблизительно требуется для нагрѣванія килограмма воды на 100°), то получимъ число 637, представляющее то что называется *полною* теплотою пара при 100° ; т.-е. количество тепла потребное дабы килограммъ воды взятой при 0° превратилъ въ паръ при 100° и притомъ такъ что предварительно вода нагрѣвается въ *жидкомъ* видѣ до 100° , и потомъ превращается въ паръ уже безъ измѣненія температуры. Еслибы вода въ котлѣ была подъ давленіемъ 8 атмосферъ, то ее можно было бы нагрѣть въ жидкомъ видѣ до 172° , причемъ для нагрѣванія каждаго килограмма потребовалось бы около 172 единицъ тепла, если допустить что первоначальная температура была 0° . Изъ опытовъ Реньйо слѣдуетъ что для обращенія килограмма воды при 172° въ паръ при той же температурѣ требуется 487 единицъ. Сумма $487 + 172 = 659$ выразитъ *полную* теплоту при 172° ; число же 487 есть собственно скрытая теплота при этой температурѣ. Видимъ что полная теплота пара съ повышеніемъ температуры возрастаетъ, скрытая уменьшается. Количество *полной теплоты* водянаго пара, при разныхъ температурахъ T , Реньйо выразилъ формулою $Q = 606,5 + 0,305 T$.

§ 203. Холодъ чрезъ испареніе. Опыты Лесли и Вульстена. *) Испареніе всегда сопровождается поглощеніемъ теплоты и чѣмъ быстрее оно происходитъ тѣмъ охлажденіе бываетъ значительнѣе. Чтобы ускорить испареніе, Лесли (1811 г.) производилъ его въ безвоздушномъ пространствѣ, поглощая образующійся паръ тѣлами жадно его принимающими. „Я помѣщалъ, говоритъ онъ (подъ колоколомъ воздушнаго насоса), широкій и плоскій сосудъ съ крѣпкою сѣрною кисло-

*) Профессоръ Лесли, англійскій ученый, пріобрѣтшій извѣстность въ началѣ нынѣшняго столѣтія въ особенности изслѣдованіями о лучистой теплотѣ, родился въ Шотландіи въ 1766 г., умеръ въ 1832 году.

Вульстенъ (Wollaston) англійскій физикъ и химикъ, замѣчательнѣйшіе труды котораго по части физики относятся къ области оптики и гальванизма, родился въ 1766 году, учился въ Кембриджѣ, былъ врачомъ, но потомъ оставилъ практику и занялся исключительно физикой и химіей. Открытіемъ способа обработки платины пріобрѣлъ значительное состояніе.

тою; надъ нимъ въ разстояніи двухъ или трехъ дюймовъ ставилъ металлическую *) чашечку, помѣщавшуюся на стеклянныхъ ножкахъ (фиг. 247). Въ чашечку наливалась дистиллированная вода. Какъ скоро воздухъ былъ выкаченъ, вода начинала образовывать ледяные кристаллы, причемъ не рѣдко замѣчались въ значительномъ количествѣ воздушные пузыри. Явленіе происходитъ оттого что паръ съ поверхности воды стремительно и постоянно истекаетъ въ пустоту, будучи непрерывно поглощаемъ сѣрною кислотой, причемъ вода быстро охлаждается, такъ какъ значительное отдѣляющееся количество пара потребляетъ много теплоты для своего образованія.



Фиг. 247.

Образовавшійся ледъ продолжаетъ испаряться и мало-по-малу „исчезаетъ, причемъ кислота во все время сохраняетъ сравнительно высокую температуру. Кусокъ льда въ дюймъ толщиной исчезаетъ такимъ образомъ въ 5 или 6 дней“. Лесли производилъ опытъ также въ нѣсколько иной формѣ. Онъ наливалъ воду въ стеклянную чашечку, прикрытую крышечкой которую можно было приподнять помощью стержня, проходившаго чрезъ верхъ колпачка насоса. Выкачавъ воздухъ онъ приподнималъ крышечку. „Менѣе чѣмъ чрезъ 5 минутъ появлялись ледяныя иглы... и скоро образовался твердый, вполнѣ прозрачный ледъ“.

Холодомъ при испареніи объясняется также слѣдующій опытъ Вульстена (1813 г.). „Возьмемъ, говоритъ онъ, стеклянную трубку съ внутреннимъ діаметромъ около 1 дюйма.

*) Опытъ удастся скорѣе, если вмѣсто металлической чашечки взять слой пробки съ углубленіемъ и обжечь ее на свѣчѣ съ поверхности. Вода налитая въ углубленіе, не смачивая пробки, представляетъ съ красивою выпуклою поверхностью значительной величины, и образующійся паръ, вслѣдствіе дурной проводимости пробки, заимствуетъ теплоту исключительно отъ воды.

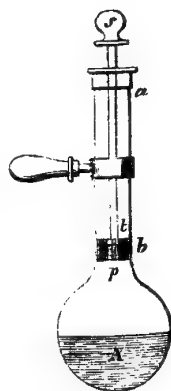
оканчивающуюся двумя шариками (фиг. 248) около дюйма въ



Фиг. 248.

діаметръ. Въ одномъ находится нѣкоторое количество воды, изъ остальнаго пространства воздухъ старательно выгнать... Для этого второй шарикъ оканчивается капиллярною оконечностію; воду въ первомъ шарикѣ кипятятъ продолжительное время, пока весь воздухъ вытѣснится паромъ, стремительно выходящимъ чрезъ капиллярное отверстіе втораго шарика, которое затѣмъ помощью пламени лампы... запаивается герметически. Если воздухъ успѣшно выгнать, то погрузивъ пустой шарикъ въ охлаждающую смѣсь, замѣтимъ что вода въ шарикѣ А замерзнетъ въ нѣсколько минутъ, хотя бы онъ былъ на разстояніи двухъ, трехъ футовъ. Паръ сгущается въ пустомъ шарикѣ, и происшедшая пустота вызываетъ образованіе новаго количества пара въ шарикѣ А, сопровождающееся соотвѣтствующимъ поглощеніемъ тепла.... Холодящее дѣйствіе смѣси какъ бы передается на разстояніе». Вульстенъ называетъ снарядъ свой *криофоромъ*.

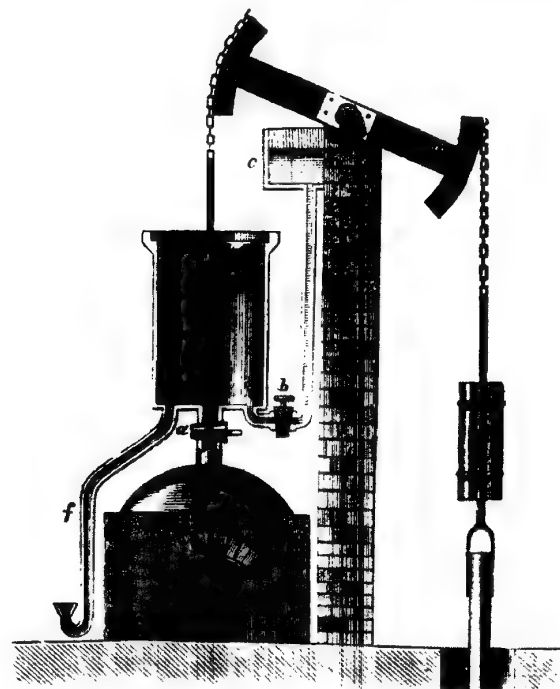
§ 204. Употребленіе пара какъ двигателя въ паровой машинѣ. Свойство пара, находящагося въ прикосновеніи съ избыткомъ жидкости, быстро пріобрѣтаетъ при нагреваніи сильную упругость и столь же быстро терять ее при охлажденіи, дѣлаетъ паръ особенно удобнымъ для употребленія въ качествѣ двигателя. Приборъ изображенный на фиг. 249 даетъ понятіе о томъ какъ можно воспользоваться паромъ для этой цѣли. Если нагрѣть воду въ сосудѣ А, то образовавшійся паръ подыметъ къ верху поршень р находившійся внизу въ началѣ опыта.



Фиг. 249.

Охладимъ паръ, опуская, напримѣръ, сосудъ А въ холодную воду. Увидимъ что атмосферное давленіе заставитъ поршень опуститься, такъ какъ, вслѣдствіе охлажденія, паръ подъ поршнемъ сгустится и утратитъ большую часть своей упругости.

Паринъ и другіе ученые конца XVII и начала XVIII вѣка дѣлали попытки приложить паръ къ движенію машинъ. Но первая машина, работавшая паромъ, которая вошла въ употребленіе въ промышленности, а именно для выкачиванія воды въ англійскихъ копяхъ, была машина Ньюкомена *. Фиг. 251 даетъ понятіе о ея



Фиг. 251.

*) Изобрѣтеніе относится къ началу XVIII столѣтія. Ньюкоменъ (Newcomen) былъ машинистъ, имѣвшій свою кузницу въ Дармутѣ въ Девонширѣ.

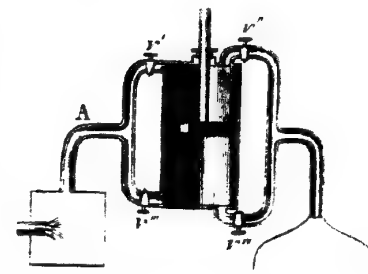
устройствъ и дѣйствіи. Поршень цилиндра соединенъ цѣпью съ коромысломъ, на другомъ концѣ котораго привѣшенъ стержень насоса качающаго воду. На этотъ поршень сверху дѣйствуетъ атмосферное давленіе, снизу давленіе пара, входящаго въ цилиндръ изъ котла чрезъ кранъ *a*. Когда давленіе пара равно атмосферному (для этого паръ долженъ быть приблизительно при 100°), то стержень насоса, по своей тяжести, опускается внизъ, а поршень идетъ вверхъ. Затѣмъ, помощью крана *b* изъ резервуара *c* выпускаютъ внутрь цилиндра холодную воду. Паръ быстро сгущается; подъ поршнемъ образуется разрѣженное пространство, и атмосферное давленіе, не уравновѣшиваясь снизу давленіемъ пара, заставляетъ поршень опуститься внизъ, подымая стержень насоса и производя работу. Чтобы уводить изъ цилиндра воду, какъ выпрыснутую такъ и образовавшуюся чрезъ сгущеніе, служитъ трубка *f*, имѣющая на концѣ открывающійся вверхъ клапанъ и погруженная этимъ концомъ въ воду. Когда цилиндръ наполненъ горячимъ паромъ съ давленіемъ нѣсколько превышающимъ атмосферное, паръ этотъ чрезъ клапанъ выгоняетъ воду. Когда же начинается сгущеніе, атмосферное давленіе получаетъ преобладаніе и закрываетъ клапанъ. Машина потребляла весьма значительное количество топлива, несмотря на усилія механиковъ, направленные на то чтобы усовершенствовать грѣющій очагъ и предохранить нагрѣтыя части отъ охлажденія. Главный недостатокъ ея былъ въ томъ что охлажденіе пара, требующее значительнаго количества воды, производилось въ самомъ цилиндрѣ, и новый входящій паръ вступалъ въ цилиндръ охлажденный градусовъ до 40° , въ которомъ еще оставалось не мало воды при той же и даже низшей температурѣ. Полезное дѣйствіе начиналось когда цилиндръ и вода вновь нагрѣвались до 100° .

Въ 1764 году Уаттъ (Watt), *) тогда строитель физическихъ инструментовъ въ Глазго, исправляя модель Ньюкоменовой машины, принадлежавшую университету, усмотрѣлъ недостатки этой машины и, найдя средство къ ихъ устрaненію, создалъ *паровую машину*, составившую эпоху въ исторіи промышленности. „Прежде, всего говорить онъ, я былъ удивленъ, видя какое (значительное) требуется количество выпрыскиваемой воды и какъ сильно она нагрѣвается отъ малаго количества пара входящаго въ цилиндръ. Думая не сдѣлать ли я какой ошибки, я произвелъ особый опытъ... (Я убѣдился: что вода въ

*) Уаттъ родился въ 1736 году въ Шотландіи, по восемнадцатому году учился въ Лондонѣ у одного инструментальнаго мастера. Великое изобрѣтеніе паровой машины доставило ему извѣстность и состояніе. Умеръ въ 1819 году, будучи членомъ Лондонскаго Королевскаго Общества и однимъ изъ восьми иностранныхъ членовъ Парижской Академіи Наукъ.

формѣ пара въ состояніи, сгущаясь, нагрѣтъ до 100° въ шесть разъ большее по вѣсу количество воды въ жидкомъ видѣ, и наоборотъ такимъ количествомъ воды нельзя сгустить болѣе пара. Пораженный этимъ фактомъ и не понимая его причины, я передалъ его моему другу Блэкку, который тогда и изложилъ мнѣ свое ученіе о скрытой теплотѣ, составленное имъ за нѣсколько времени до этой эпохи (лѣто 1764) и на которое я, если и слышалъ, не обращалъ, занятый своимъ дѣломъ, особеннаго вниманія, пока не наткнулся на фактъ, подтверждающій эту превосходную теорію... Размышляя далѣе, я убѣдился, что для наилучшаго употребленія пара необходимо: 1) чтобы цилиндръ постоянно поддерживался столь же нагрѣтымъ какъ входящій паръ, а съ другой стороны чтобы 2) вода какъ получаема отъ сгущенія пара такъ и выпрыскиваемая была, напротивъ, охлаждена до 40° и ниже, буде возможно. Средство удовлетворить этимъ требованіямъ не тотчасъ представилось моему уму, но позже, въ 1765 г., я сообразилъ что если установить сообщеніе между цилиндромъ содержащимъ паръ и особымъ сосудомъ, изъ котораго былъ бы выкаченъ воздухъ, то паръ, какъ упругая среда, тотчасъ ринется въ пустой сосудъ и будетъ переходить пока не установится равновѣсіе; а если сосудъ поддерживать холоднымъ помощью выпрыскиванія или инымъ способомъ, паръ будетъ продолжать переходить пока весь не сгустится“. Этотъ сосудъ прибавленный Уаттомъ называется *холодильникомъ*. Чтобы удалить скопляющуюся въ холодильникѣ воду Уаттъ прибавилъ насосъ, приводимый въ движеніе самою машиной. Далѣе, такъ какъ въ Ньюкоменовой машинѣ, гдѣ поршень опускается внизъ давленіемъ атмосферы, верхняя часть цилиндра даетъ свободный доступъ воздуха, „который дѣйствуетъ охлаждающимъ образомъ на цилиндръ“, то Уаттъ возымѣлъ мысль „пустить паръ поверхъ поршня и заставить его дѣйствовать вѣсто атмосферы“. Отсюда планъ машины съ *двойнымъ дѣйствіемъ*.

Фиг. 252 можетъ дать понятіе объ основной идеѣ машины Уатта съ *двойнымъ дѣйствіемъ* и съ *холодильникомъ*. Открывъ краны *V*^{IV} и *V*^I, дозволить пару изъ котла входить въ нижнюю часть цилиндра



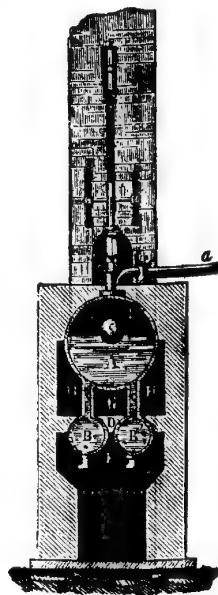
Фиг. 252

въ машинахъ съ холодильникомъ и равняется, напри-
мѣръ, шести, восьми атмосферамъ *.

Прибавимъ еще, что вмѣсто того чтобы во все время дви-
женія поршня пускать паръ въ цилиндръ, держа его въ сооб-
щеніи съ котломъ, найдено полезнымъ прекращать доступъ
пара въ извѣстный моментъ. Оставшійся паръ продолжаетъ
давить на поршень съ ослабвющею, по мѣрѣ расширенія,
силою. Хотя чрезъ это полное дѣйствіе нѣсколько уменьшается,
но за то потребляется меньшее количество пара, и движеніе
поршня становится болѣе мягкимъ.

Паръ дѣйствующій въ машинѣ обра-
зуется въ цилиндрическомъ котлѣ А (въ
разрѣзѣ изображенномъ на фиг. 256) снаб-
женнымъ кипятильными трубами В и С. Пламя
очага охватываетъ эти трубы и
нижнюю часть котла, быстро нагревая во-
ду. Паръ проводится въ машину чрезъ
трубку а.

Котель локомотива, влекущаго поѣздъ
по желѣзной дорогѣ, устраивается осо-
бымъ образомъ съ цѣлью возможно бы-
страго образованія пара. Котель состав-
ляетъ самое тѣло локомотива. Пламя
очага А (фиг. 257) и горячіе продукты
горѣнія входятъ во многа трубы, про-
ходящія внутри котла и погруженныя въ
его воду. Вода нагревается и испаряет-
ся на огромной поверхности нѣсколь-
кихъ сотъ метровъ. Скопившійся въ
верхней части паръ отводится трубкою
ВВ',—отверстіемъ которой машинистъ
управляетъ помощью ручки d,—въ ци-
линдръ Е (такой же находится и съ дру-
гой стороны), гдѣ ходитъ поршень, при-
водящій во вращеніе колеса локомотива.
Паръ произведшій дѣйствіе выпускается
наружу чрезъ трубку С, помощью канала F, и значительно
увеличиваетъ тягу трубы, усиливая горѣніе въ очагѣ. Вода
доставляется въ котель изъ тендера помощью трубки Н.

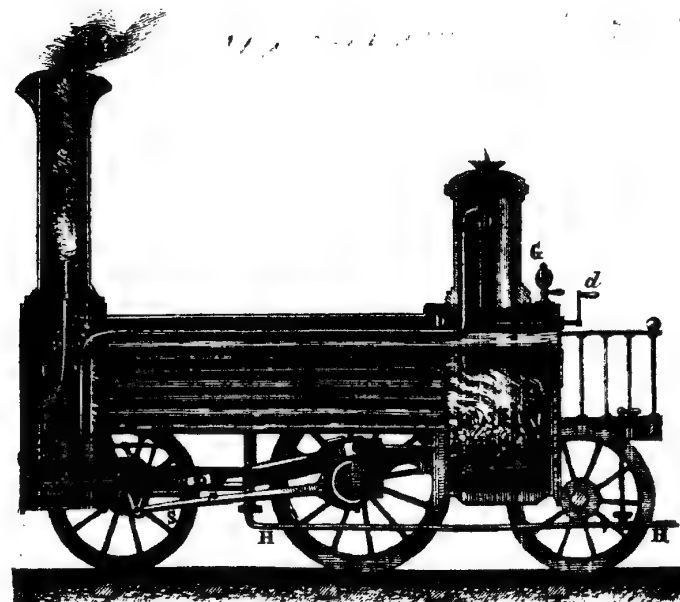


Фиг. 256.

§ 205. Гигрометрія или ученіе о влажности воздуха.
Химическая метода опредѣленія влажности. Въ окру-

*) Машины съ холодильникомъ бываютъ низкаго давления, когда упругость пара не превышаетъ $1\frac{1}{2}$ атмосферъ, и средняго, когда упругость равна отъ 3—5 атмосферъ; послѣднія мо-
гутъ устраиваться и безъ холодильника.

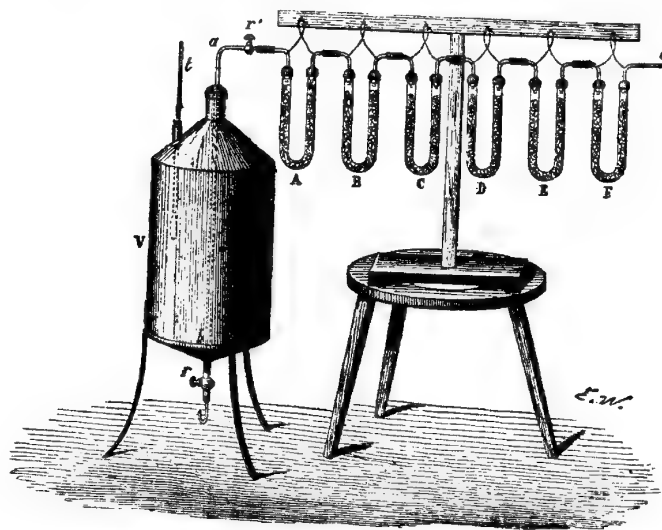
жающемъ насъ воздухѣ всегда находится большее
или меньшее количество водянаго пара. Если прине-
сти въ комнату холодное тѣло съ гладкою поверх-
ностью, то оно тотчасъ потускнѣетъ вслѣдствіе осѣд-
шаго тонкаго слоя воды. Явленіе происходитъ отъ то-
го что слой воздуха прилежащій къ тѣлу охлаждает-
ся до такой степени, что количество заключающагося
въ немъ пара превышаетъ то, которое потребно для
насыщенія при наступившей температурѣ: избытокъ
осаждается въ жидкомъ видѣ.



Фиг. 257.

Чтобъ опредѣлить количество пара въ воздухѣ
пропускаютъ опредѣленный объемъ воздуха чрезъ
жидно поглощающія воду тѣла и измѣряютъ получен-

ное ими приращение вѣса. Фиг. 258 даетъ понятіе о снарядѣ, употребляемомъ для этой цѣли. Метал-



Фиг. 258.

лическій сосудъ, называемый *аспираторомъ*, наполняютъ водой и соединяютъ съ рядомъ трубокъ *B, C, D...* наполненныхъ кусочками пензы пропитанной крѣпкою сѣрною кислотой. Отрывъ края аспиратора выпускаютъ мало-по-малу заключающуюся въ немъ воду. Она замѣщается воздухомъ, входящимъ чрезъ открытое отверстіе послѣдней трубки *F* и проходящимъ чрезъ всѣ трубки, оставляя заключающуюся въ немъ влагу, поглощаемую сѣрною кислотой. Когда истечение окончилось, трубки взвѣшиваются; приращение ихъ вѣса показываетъ сколько водяного пара, при условіяхъ опыта, заключалось въ воздухѣ. Наполнивъ аспираторъ, объемъ котораго опредѣленъ предварительнымъ испытаніемъ.

Чтобъ опредѣлить наибольшее количество пара,

какое можетъ заключаться въ данномъ объемѣ воздуха при определенной температурѣ, воздухъ этотъ *насыщаютъ* паромъ, заставляя проходить чрезъ сосудъ наполненный намоченными губками и потомъ уже проникать чрезъ осушающія трубки въ аспираторъ. (Въ естественномъ состояніи воздухъ лишь въ исключительныхъ случаяхъ бываетъ насыщенъ паромъ.) Этимъ путемъ можно убѣдиться что количество пара потребное для насыщенья 1 кубическаго метра воздуха при разныхъ температурахъ равняется тому какое требуется для насыщенья такого же *пустого* пространства при той же температурѣ и которое опредѣляется теоретически по формуламъ § 196. Такимъ образомъ кубическій метръ воздуха заключаетъ въ себѣ слѣдующія количества пара:

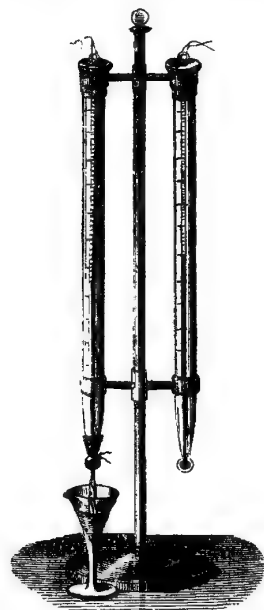
При температурѣ	вѣсъ пара
—10°	2.30 грамма
0	4,36 "
10	9,36 "
15	12,74 "
20	17,15 "
25	22,83 "

Отношеніе того количества пара, какое въ данномъ случаѣ находится въ нѣкоторомъ объемѣ воздуха къ тому, какое содержалось бы въ этомъ объемѣ, если бы воздухъ былъ насыщенъ паромъ при температурѣ опыта, называется *влажностью* воздуха.

§ 206. Опредѣленіе влажности помощію психрометра.

Опредѣленіе влажности помощію химической metody, хотя и самое точное, требуетъ продолжительнаго и нелегкаго опыта. Потому для производства наблюдений надъ влажностью пользуются обыкновенно другими приемами. Наиболее употребительный приемъ есть одновременное наблюденіе двухъ термометровъ, одного обыкновеннаго, другаго постоянно увлажняемаго. Снарядъ состоящій изъ таковыхъ двухъ термомет-

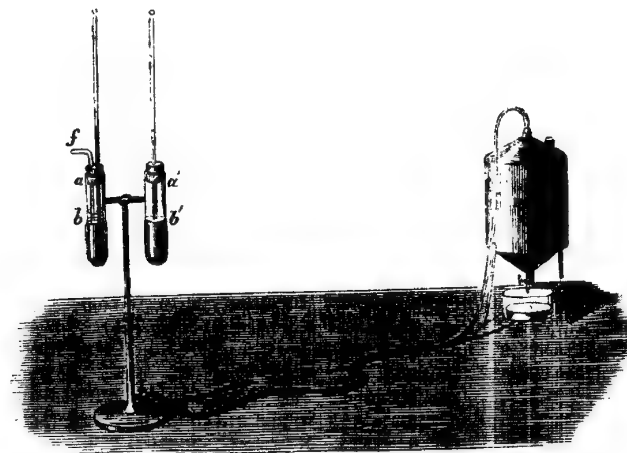
ровъ (фиг. 259) носить названіе *психрометра*. На поверхности мокрого термометра вода испаряется, поглощая теплоту; потому термометръ этотъ охлаждается и показываетъ температуру ниже температуры окружающего воздуха, о которой узнаемъ по показанію сухого термометра. И эта разность тѣмъ значительнѣе чѣмъ суше воздухъ. Составлены таблицы, пользуясь которыми можно, по даннымъ разности температуръ и атмосферному давлению (испареніе происходитъ быстрее когда давленіе это меньше), — найти соотвѣтствующую влажность.



Фиг. 259.

§ 207. Метода осажденія. Если станемъ медленно охлаждать воздухъ *не насыщенный* паромъ, то достигнемъ момента, когда того количества пара, какое есть въ этомъ воздухѣ (и которое при данной температурѣ не насыщаетъ его), будетъ, при пониженной температурѣ, достаточно для его насыщенія, такъ что, при дальнѣйшемъ охлажденіи, паръ станетъ осѣдать. Осѣданіе послѣдуетъ тѣмъ раньше, чѣмъ ближе къ состоянію насыщенія былъ первоначально воздухъ. На этомъ фактѣ основывается гигрометръ англійскаго ученаго Даниеля (1820 г.), существенно измѣненный Ренью, который далъ снаряду слѣдующую нынѣ употребительную форму. Дѣйствіемъ аспиратора *D* (фиг. 260) пропускается болѣе или менѣе быстрый потокъ воз-

духа чрезъ небольшую трубочку, которой нижняя часть металлическая съ блестящею поверхностью и



Фиг. 260.

которая наполнена эфиромъ. Воздухъ, входящій чрезъ отверстіе *f*, проходя пузырьками чрезъ эфиръ, производитъ его усиленное испареніе, сопровождающееся охлажденіемъ жидкости и облегающихъ ее стѣнокъ. Наступитъ моментъ, когда блестящая поверхность станетъ тускнѣть. Маленькій термометръ, погруженный въ эфиръ, покажетъ температуру окружающего снарядъ неохлажденного воздуха (термометръ этотъ вставленъ въ трубочку подобную первой, но безъ эфира). Чѣмъ значительнѣе, при данной температурѣ, разность показаній этихъ термометровъ, тѣмъ суше воздухъ.

Допустимъ что въ данномъ случаѣ температура воздуха есть 20°, и пусть опытъ съ гигрометромъ Ренью показать что воздухъ этотъ надо охладить до 10° чтобы появилось осѣданіе пара. Спрашивается, какъ велика была влажность. Извѣстно что для насыщенія паромъ кубическаго метра при 20° потребно 17,15 грамм. воды; при 10° потребно 9,36 гр. Съ перваго взгляда

может базаться что, такъ какъ, по свидѣтельству опыта, того количества пара, какое было въ воздухѣ, оказалось достаточнымъ для насыщения при 10°, то раздѣливъ 9,36 на 17,15 получимъ влажность. Но это было бы не точно, ибо воздухъ отъ охлаждения нѣсколько сжался, и паръ заключавшійся прежде въ объемѣ, напримѣръ, кубическаго метра, теперь заключается въ объемѣ меньшемъ прежняго *, и слѣдовательно разчитывать количество пара мы должны по этому уменьшенному объему, въ кубическомъ же метрѣ его было меньше чѣмъ 9,36. Но если вмѣсто того чтобы сравнивать количества пара будемъ сравнивать его упругости, то разсужденіе будетъ проще. Отдѣлимъ мысленно нѣкоторую часть воздуха съ содержащимся въ немъ паромъ отъ остальной массы. Вообразимъ, напримѣръ, что онъ заключается въ цилиндрѣ и отдѣленъ отъ остальной массы подвижнымъ поршнемъ. Атмосферное давленіе, дѣйствующее на внѣшнюю сторону поршня, съ внутренней уравнивается отчасти упругостью воздуха, отчасти упругостью пара. Станемъ охлаждать этотъ воздухъ какъ въ нашемъ случаѣ отъ 20° до 10°. Упругость отъ охлаждения должна бы ослабѣть, но такъ какъ поршень подвиженъ, то атмосферное давленіе передвигаетъ его до тѣхъ поръ пока чрезъ сжатіе возстановится равновѣсіе давленій и какъ воздухъ такъ и паръ достигнутъ прежней упругости. Это разсужденіе показываетъ что упругость пара остается постоянной при охлажденіи и паръ при 10° имѣетъ ту же упругость какую имѣлъ при 20° (онъ сталъ холоднѣе, но за то болѣе сжатъ: одно вознаграждаетъ другое). Но при 10° паръ имѣетъ въ нашемъ случаѣ наибольшую упругость, какая возможна при этой температурѣ, ибо начинается осѣдать. Упругость эту знаемъ изъ таблицы: она есть 9,2. Такова слѣдовательно была упругость и при 20°, когда паръ этотъ не насыщалъ воздуха. А такъ какъ при той же температурѣ отношеніе упругостей (§ 196) равняется отношенію количествъ, то слѣдов. опредѣливъ отношеніе 9,2 къ 17,4 (наибольшая упругость при 20°), чрезъ то самое опредѣлимъ отношеніе того количества пара какое есть въ воздухѣ къ тому, какое должно быть при насыщеніи, то-есть его *влажность*. Будемъ имѣть $\frac{9,2}{17,4} = 0,53$. Итакъ чтобы найти влажность воздуха, надо наибольшую упру-

*) Меньше, какъ не трудно доказать, въ отношеніи $\frac{273+10}{273+20} = 0,966$ ибо въ такомъ именно отношеніи уменьшился объемъ при охлажденіи отъ 20° до 10°. Пара было слѣдовательно $9,36 \times 0,966$. Раздѣливъ это число на 17,15 получимъ влажность = 0,53.

гость, соответствующую температурѣ осѣданія пара, раздѣлить на наибольшую упругость пара, соответствующую дѣйствительной температурѣ воздуха въ данномъ случаѣ.

§ 208. Гигрометръ Соссюра состоитъ изъ очищеннаго отъ жира волоса, укрѣпленнаго однимъ концомъ, затѣмъ обмотаннаго разъ вокруг легкаго блока со стрѣлкой и натянутого небольшимъ грузомъ (фиг. 261) привѣшеннымъ къ другому концу. Когда воздухъ становится сырѣе, волосъ, поглощая влагу, удлиняется, и грузъ заставляетъ блокъ со стрѣлкою повернуться на большее или меньшее число градусовъ, какъ можно видѣть на циферблатѣ. Снарядъ градуируютъ такъ чтобы въ совершенно сухомъ воздухѣ стрѣлка стояла при 0 скалы, въ насыщенномъ паромъ при 100. Инструментъ не можетъ впрочемъ служить для точнаго опредѣленія влажности и даетъ только приблизительныя указанія о возрастаніи или уменьшеніи сырости.



Фиг. 261.

Тѣла впитывающія въ себя влагу вообще называются гигроскопическими. Поглощеніе влаги нерѣдко сопровождается измѣненіями тѣла. Бумага мокрая занимаетъ большую поверхность чѣмъ сухая, потому при наклеивъ рисовальныхъ листовъ ихъ смачиваютъ, дабы при осушеніи бумага была сильнѣе натянута. Дерево разбухаетъ отъ сырости (мебель изъ сыраго дерева растрескивается когда высыхаетъ). Волокна пеньки, льна удлиняются отъ влажности, но скрученные изъ нихъ веревки и канаты укорачиваются. Когда поднимали обелескъ Сиеста V на площадѣ Петра въ Римѣ, то смачиваніе веревки помогло постановкѣ.

§ 209. Воляные осадки въ атмосферѣ. Туманъ образуется когда вслѣдствіе охлаждения распростра-

невный въ воздухъ паръ достигаетъ точки насыщения и сгущается въ мельчайшія капельки и, можетъ быть, пузырьки. Туманъ находящійся на болѣе или менѣе значительномъ разстояніи отъ земли образуетъ облака. При низкихъ температурахъ сгущеніе пара поражаетъ мельчайшія ледяныя иголки, нисшіяся въ воздухъ и могущія въ свою очередь образовать цѣлыя облака. Когда сгустившійся паръ даетъ замѣтныя капли, падающія внизъ, то происходитъ *дождь*. Изъ ледяныхъ иголокъ слагаются болѣе или менѣе правильныя фигуры, падающія въ формѣ *снега*. Быстрое охлажденіе водяныхъ капель поражаетъ, малонислѣдованнымъ еще процессомъ, кусочки льда, называемые *градомъ*.

Осажденіе влаги на тѣлахъ, особенно на травѣ, въ ясныя ночи, когда въ атмосферѣ нѣтъ видимыхъ признаковъ осадка, составляетъ явленіе *росы*, а если влага осѣдаетъ въ твердомъ видѣ — *иней*.

До изслѣдованій (1814 г.) англійскаго ученаго начала нынѣшняго столѣтія доктора Уэльса (Wells) не было истинной теоріи росы, и ученые, по большей части, принимали, что роса есть родъ мельчайшаго невидимаго дождя, образующагося въ нижнемъ слое атмосферы, вслѣдствіе охлажденія воздуха и падающаго на землю, охлаждая предметы на которые попадаетъ. Уэльсъ, трудъ котораго Джонъ Гершель *) приводитъ какъ примѣръ изученія явленій природы путемъ индуктивнаго изслѣдованія, указаннымъ Бекономъ, обратилъ вниманіе на слѣдующія наблюденія: 1) Роса появляется обильно при чистомъ небѣ и безвѣтренной погодѣ; облака и вѣтеръ препятствуютъ ея образованію. Наблюдая количество росы принимаемое небольшими клубами шерсти (дюйма два въ діаметрѣ) помѣщенными такъ что зрѣлище небснаго свода было отъ нихъ болѣе или менѣе заграждено, онъ нашелъ что росообразование тѣмъ значительнѣе, чѣмъ болѣе часть видимаго неба. 2) Количество осѣдающей росы находится въ зависимости отъ поверхности и вообще механическаго состоянія тѣла. На деревянныхъ стружкахъ росы осѣдаетъ болѣе чѣмъ на кускѣ дерева. Волокнистыя тѣла, хлопковъ, трава особенно въ обилии получаютъ росу. 3) Металлы, особенно широкія дощечки, получа-

ють менѣе росы чѣмъ поставленны въ тѣ же условія дурно-проводящія тѣла, напримѣръ стекло. Уэльсъ убѣдился далѣе, что во всѣхъ случаяхъ образованія росы температура тѣла бываетъ *ниже* температуры окружающаго воздуха, и слѣдовательно появленіе росы есть слѣдствіе предшествовавшаго охлажденія тѣла, а не наоборотъ, какъ думали прежде, когда приписывали охлажденіе тѣла паденію холодныхъ капелекъ росы. Уэльсъ замѣтилъ даже что при обильномъ появленіи росы тѣло становится нѣсколько теплѣе чѣмъ какъ было до ея появленія (слѣдствіе скрытой теплоты пара). Помѣщая одинъ термометръ въ травѣ, другой въ воздухѣ на высотѣ 4 футовъ, Уэльсъ находилъ, что трава во всѣхъ случаяхъ когда образуется роса имѣла температуру ниже на 7, 8 и даже болѣе градусовъ Фаренгейта сравнительно съ воздухомъ. Охлажденіе тѣла на земной поверхности въ безоблачную ночь ниже температуры воздуха есть слѣдствіе испусканія теплоты тѣлами чрезъ теплопроводящую воздушную оболочку, какую представляетъ собою атмосфера, въ небесное пространство, оказывающее охлаждающее дѣйствіе, какое оказали бы весьма холодный сводъ раскинутый надъ землею. Тѣла хорошо проводящія, какъ металлы, при этомъ менѣе охлаждаются на поверхности, такъ какъ обладаютъ слабымъ лучеиспусканіемъ и легче получаютъ притокъ теплоты изнутри и отъ воздуха чѣмъ тѣла дурнопроводящія. Дурные проводники съ большою притомъ поверхностью, какъ волокнистыя тѣла испытываютъ, напротивъ, наиболѣе сильное охлажденіе. Особенно сильное охлажденіе волокнистыхъ тѣлъ, какъ трава, комен шерсти и т. п., обусловливается, впрочемъ, кромѣ значительности лучеиспусканія тѣмъ что охлажденный воздухъ остается безъ движенія въ ихъ промежуткахъ и не смѣняется болѣе теплыми частицами.

§ 210. Задачи на скрытую теплоту льда и пара. 1) Сколько потребно воды при опредѣленной температурѣ, для того чтобы растопить опредѣленное количество льда при 0° или при $-t^\circ$ и получить смѣсь при 0° или при другой температурѣ. 2) Сколько потребно льда, чтобы понизить на опредѣленное число градусовъ температуру даннаго количества воды, заключенной въ сосудѣ (всѣхъ, температура воды и сосуда, удѣльная теплота вещества сосуда предполагаются извѣстными)?

3) Сколько потребно пара при 100° , для того чтобы нагрѣть опредѣленное количество воды отъ t° до t'° ? Подобная задача въ случаѣ пара при температурѣ T° . 4) Сколько потребно воды при t° , для того чтобы обратить въ воду при опредѣленной температурѣ всѣхъ P пара при 100° и при T° .

*) Знаменитый англійскій астрономъ, недавно умершій.

III. Начала механической теории теплоты.

§ 211. Мнѣнія ученыхъ конца прошлаго вѣка. Лавуазье и Лапласъ въ своемъ *Мемуаръ о теплотѣ* (1780 г.) такъ говорятъ о мнѣніяхъ, которыя раздѣляли ученыхъ ихъ эпохи по отношенію къ теоріи теплоты: «Физики раздѣлены въ воззрѣніяхъ на природу теплоты. Многіе рассматриваютъ теплоту какъ жидкость распространенную во всей природѣ и проникающую всѣ тѣла въ зависимости отъ ихъ температуры и частной способности удерживать ее. Она можетъ входить съ ними въ соединеніе и въ такомъ состояніи перестаетъ дѣйствовать на термометръ и сообщаться отъ одного тѣла другому; находясь же въ состояніи свободы, позволяющемъ ей приходить въ равновѣсіе въ тѣлахъ, она образуетъ то что называемъ *свободною теплотою* (въ противоположность скрытой). Другіе физики думаютъ что теплота есть не что иное какъ результатъ незамѣтныхъ движеній частицъ матеріи. Извѣстно что тѣла, даже самыя плотныя наполнены огромнымъ числомъ поръ или маленькихъ пустотъ, объемъ которыхъ можетъ значительно превосходить объемъ заключающей ихъ матеріи; эти пустыя пространства даютъ малѣйшимъ частицамъ тѣла свободу качаться во всѣ стороны, и естественно думать что частицы эти постоянно находятся въ колебаніи, которое, если оно увеличится до извѣстнаго предѣла, можно раздѣлить ихъ и разложить тѣло. Это-то внутреннее движеніе и составляетъ, согласно физикамъ о которыхъ говоримъ, явленіе теплоты». Въ настоящее время послѣднее мнѣніе сдѣлалось общимъ, и физики принимаютъ что теплота есть движеніе. Возбужденіе теплоты треніемъ есть наиболѣе наглядное доказательство этого положенія.

§ 212. Переходъ механической работы въ теплоту. Опытъ Румфорда и Деви надъ возбужденіемъ теплоты треніемъ. Въ 1798 году Румфордъ сообщилъ Лондонскому Королевскому Обществу любопытныя наблюденія надъ теплотой развиваемой треніемъ. «Имѣя, говорить онъ, въ послѣднее время высшее наблюденіе надъ сверленіемъ пушекъ въ Мюнхенскомъ пейхгаузѣ, я былъ пораженъ значительнымъ возвышеніемъ температуры, каковаго въ короткое время достигаетъ пушка при сверленіи, и въ особенности сильнымъ нагрѣваніемъ отдѣляющихся при этомъ опилокъ: ихъ температура превышала, какъ показали мнѣ опыты, температуру кипѣнія воды. Чѣмъ болѣе размышлялъ я объ этомъ явленіи, тѣмъ болѣе казалось оно мнѣ заслуживающимъ вниманія. Отъ строгаго изслѣдованія его я могъ ожидать болѣе

глубокаго проникновенія въ скрытую природу теплоты и основательныхъ заключеній о существованіи или несуществованіи «огненной жидкости», вопросъ, относительно котораго мнѣнія философовъ во всѣ времена были весьма раздѣлены.... Откуда приходитъ теплота, развиваемая механическимъ дѣйствіемъ сверленія? Происходитъ ли она отъ металлическихъ опилокъ, отдѣляемыхъ сверломъ отъ остальной массы? Въ такомъ случаѣ, согласно новѣйшему ученію о скрытомъ теплѣ и теплородѣ, не только должна перемѣняться теплоемкость частей металла, превратившихся въ опилки, но и перемѣна эта должна быть весьма значительна, чтобъ ею можно было объяснить всю произведенную теплоту... Опытъ показалъ мнѣ, что металлъ при такомъ превращеніи въ опилки никакого замѣтнаго измѣненія теплоемкости не претерпѣваетъ... Теплота эта не можетъ, слѣдовательно, произойти на счетъ скрытой теплоты опилокъ... Я взялъ пушку въ томъ видѣ какъ она вышла изъ литейной, помѣстивъ ее горизонтально въ сверлильной машинѣ... Просверлилъ углубленіе на семь дюймовъ въ цилиндрическомъ концѣ ея, который отдѣлилъ отъ остальной массы тонкою шейкой... вставилъ въ это углубленіе тупое сверло, приводимое въ движеніе около своей оси лошадыю и назначенное для того чтобы треніемъ возбуждать теплоту, пажимая на неподвижное дно цилиндра... Длинноватый четырехугольный деревянный ящикъ, съ двумя отверстіями, изъ которыхъ чрезъ одно проходила шейка цилиндра, чрезъ другое стержень сверла, облекая собою цилиндръ... Отверстія эти помочію колецъ изъ промасленной кожи были сдѣланы непроницаемыми для воды; ящикъ наполнялся холодною водою (при 60° по Фаренг.), и машина приводилась въ движеніе... Черезъ часъ термометръ, опущенный въ воду, показывалъ 107° Ф., чрезъ полтора часа 142° Ф.; чрезъ два часа достигъ 178°; чрезъ два часа двадцать минутъ 200°, и наконецъ чрезъ два часа съ половиною вода закипѣла! Трудно описать изумленіе, изобразившееся на лицахъ присутствовавшихъ при видѣ такой массы воды около 19 фунтовъ или 10 литровъ безъ огня доведенной до кипѣнія. И хотя собственно во всемъ этомъ явленіи не было ничего особенно необычайнаго, признаюсь однако открыто, что оно мнѣ доставило истинно дѣтскую радость, которую я, еслибы гнался за славой серьезнаго философа, долженъ былъ бы скорѣе скрывать чѣмъ разоблачать... Не забудемъ что при всѣхъ этихъ опытахъ источникъ развиваемаго тренія тѣла, очевидно, является неисчерпаемымъ. А едва ли нужно замѣчать, что нѣчто способное безгранично доставляться отдѣльнымъ тѣломъ или системой тѣлъ не можетъ быть матеріальною субстанціей. Мнѣ кажется весьма труднымъ, почти невозможнымъ составить опредѣленное понятіе о вещи, способной возбуждаться и сообщаться какъ возбуждается и сообщается теплота въ этихъ опытахъ, если не допустить что это есть дви-

женіе. Я далеко от желанія утверждать что знаю какъ или какими средствами, какимъ механическимъ устройствомъ возбуждается, поддерживается, распространяется въ тѣлахъ этотъ особый родъ движенія, который, какъ мы приняли, составляетъ теплоту... Но если механизмъ теплоты и принадлежитъ къ тайнамъ природы, быть-можетъ, недостижимымъ человѣческому разумѣнію, то это еще никакъ не должно усыплять нашу ревность въ разысканіи законовъ ея дѣйствій... Еще никто, конечно, въ здоровомъ разсудкѣ не утверждалъ что нашелъ механизмъ тяготѣнія. И однакоже какое великое открытіе сдѣлалъ нашъ безсмертный Ньютонъ тѣмъ что нашелъ законы его дѣйствія».

Черезъ нѣсколько лѣтъ Деви сдѣлалъ опытъ еще болѣе убѣдительный. Ему удалось, взаимнымъ треніемъ двухъ кусковъ льда, значительную часть ихъ обратить въ воду. Ледъ для обращенія въ воду требуетъ значительнаго количества теплоты, теплоемкость же его вдвое менѣе теплоемкости воды; несомнѣнно, слѣдовательно, что «абсолютное количество тепла образовавшейся воды гораздо болѣе того какое заключалось во льдѣ». Откуда же пришла эта теплота? Она не могла быть доставлена льдомъ, не могла быть доставлена, какъ показываютъ Деви, окружающими тѣлами. Она возникла вслѣдствіе самой операціи тренія и есть, слѣдовательно, не что иное какъ возбужденное движеніе.

§ 213. Переходъ теплоты въ работу; аналогія указанная Карно. Если помощью механической работы можно произвести теплоту, какъ въ опытахъ Румфорда и Деви, то и наоборотъ теплота можетъ быть источникомъ работы. Такъ бываетъ, напримѣръ, въ машинахъ, дѣйствующихъ чрезъ огонь, какъ паровая. Непосредственнымъ двигателемъ въ паровой машинѣ служить паръ, но паръ получаетъ свою силу вслѣдствіе нагрѣванія, и такимъ образомъ первоначальный источникъ дѣйствія есть теплота. Саді Карно *) (въ 1824 г въ сочиненіи «О движущей силѣ огня») указалъ на замѣчательную аналогію между машинами работающими водой и тѣми гдѣ теплота есть источникъ дѣйствія. Вода приводитъ въ движеніе водяное колесо своимъ вѣсомъ, вслѣдствіе того что потокъ, стекая сверху внизъ, давитъ въ своемъ паденіи на лопатки колеса. Паденіе воды есть необходимое условіе ея дѣйствія: вода не образовала бы потока еслибы ея резервуаръ не былъ выше того мѣста куда она стекаетъ. Чѣмъ паденіе ея значительнѣе, тѣмъ значительнѣе и дѣйствіе. Подобнымъ образомъ теплота можетъ быть источникомъ механическаго дѣйствія, т.-е. преобразоваться въ работу, только если есть тѣла разной температуры, и она переходитъ отъ теплаго къ

*) Французскій ученый, сынъ извѣстнаго математика, дѣйствовавшего въ эпоху революціи.

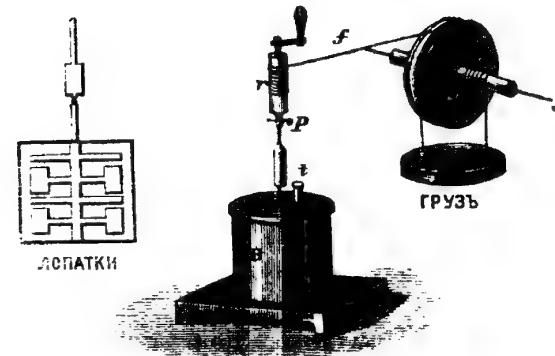
холодному. Котелъ паровой машины соотвѣтствуетъ верхнему резервуару воды, холодильникъ мѣсту куда она стекаетъ, оставая колесо. Чѣмъ значительнѣе разность температуръ верхняго и нижняго источника тѣмъ значительнѣе можетъ быть произведенная работа. Карно, разсматривавшій теплоту какъ особое тонкое вещество, полагалъ что она переходитъ отъ верхняго источника къ нижнему какъ вода въ колесѣ, не утрачиваясь въ своемъ количествѣ. Въ дѣйствительности, количество тепла приносимое въ холодильникъ оказывается менѣе того какое было взято паромъ изъ котла: часть теплага потока потратилась на пути, такъ какъ работа машины произошла на его счетъ и есть не иное что какъ преобразование теплоты. Тѣмъ не менѣе указанное Карно условіе перехода теплоты въ работу (необходимость тѣхъ неодинаково нагрѣтыхъ) сохраняется свою силу, и выраженное въ иной формѣ составляетъ такъ называемый *второй законъ механической теоріи теплоты*.

§ 214. Размысленія доктора Майера. Необходимость тѣсной связи между теплотой и механическою работою докторъ Майеръ (врачъ въ Гейльброннѣ, одинъ изъ основателей современнаго ученія о взаимномъ соотношеніи и переходахъ явленій природы) вывелъ *) на основаніи слѣдующихъ физиологическихъ соображеній. Наше тѣло само источникъ теплоты и притомъ въ двойной формѣ. Во первыхъ, мы имѣемъ собственную внутреннюю теплоту, вслѣдствіе которой температура крови выше температуры окружающаго воздуха. Въ вторыхъ, мы можемъ искусственно, работою рукъ (натирая, напримѣръ, одинъ о другой два куска дерева) возбудить теплоту въ тѣлахъ на которыя дѣйствуемъ. Назовемъ послѣдняго рода теплоту *внѣшнюю*. На счетъ чего образуется та и другая теплота? Происхожденіе внутренней теплоты объясняется медленнымъ горѣніемъ матеріаловъ нашего тѣла сожигаемыхъ кислородомъ, каковой мы поглощаемъ изъ воздуха при дыханіи. На счетъ того же ли источника должно отнести и внѣшнюю теплоту въ случаѣ когда производится таковая? «Одна ли, спрашивалъ Майеръ, прямымъ путемъ внутри тѣла развивающаяся теплота или *сумма* этой теплоты и теплоты (внѣшней) получаемой непрямимъ путемъ должна быть отнесена на счетъ процесса горѣнія?... Основное положеніе физиологической теоріи горѣнія то что количество тепла развивающееся при сгораніи даннаго вещества неизмѣнно и не зависитъ отъ обстоятельствъ сопровождающихъ сожиганіе. Отсюда *in pressé* слѣдуетъ что химическое дѣйствіе горѣнія и чрезъ жизненный процессъ не можетъ претерпѣть количественныхъ измѣненій, и что живой организмъ со всѣми его загадками и чудесами не можетъ произвести теплоту изъ ничего. Если принять эту физиологическую ак-

*) Въ сороковыхъ годахъ нынѣшняго столѣтія.

сіому, то отвѣтъ на вопросъ представляется самъ собою. Очевидно что вся совокупность производимой организмомъ теплоты не можетъ быть *больше* имѣющихъ въ немъ мѣсто химическихъ дѣйствій. Иначе пришлось бы приписать организму только что отвергнутую способность порождать теплоту изъ ничего. Должно слѣдовательно принять: что совокупность теплоты, развиваемой организмомъ, — отчасти непосредственно, отчасти путемъ механической работы, — количественно соответствуетъ или равняется дѣйствию сгорания (*dem Verbrennungs-Effecte quantitativ entspricht oder gleich ist*). Но отсюда съ такою же необходимостью слѣдуетъ, что теплота, производимая живымъ тѣломъ путемъ механической работы (внѣшняя) должна находиться съ этою работою въ неизмѣнномъ количественномъ отношеніи. Ибо если бы помощью различныхъ механическихъ пріемовъ можно было *тою же работою*, при томъ же органическомъ процессѣ сгорания, произвести *разныя* количества тепла, то отсюда слѣдовало бы что при томъ же потребленіи горючаго матеріала производимая теплота можетъ быть больше и меньше, что противно принятому положенію... Такъ какъ, далѣе, между механическимъ дѣйствіемъ животнаго тѣла и другими неорганическими родами работы нѣтъ никакого качественного различія, то слѣдовательно неизмѣнное количественное отношеніе между теплотою и работою есть постулатъ (необходимое слѣдствіе) физиологической теории горѣнія*. Опредѣленной работѣ соответствуетъ опредѣленное, эквивалентное ей количество теплоты. Въ этомъ первый законъ механической теоріи тепла. Принимая это положеніе сравнимъ состоянія живаго тѣла въ двухъ случаяхъ: 1) когда оно, поглощая кислородъ, не производитъ внѣшней и работы и 2) когда оно работаетъ. Пусть количеству p кислорода сжигающаго матеріала тѣла соответствуетъ развитіе количества Q теплоты. Тогда въ первомъ случаѣ все это количество останется въ организмѣ въ формѣ внутренней теплоты. Но если тѣло производитъ внѣшнюю работу, то p граммовъ кислорода разовьютъ внутри количество A теплоты, которое менѣе Q . Остальное количество $Q - A$ можетъ быть также получено въ формѣ теплоты, если работа будетъ исключительно употреблена на доставленіе теплоты путемъ, напримѣръ, тренія. Если же работа будетъ употреблена на поднятіе груза, побѣжденіе какого-нибудь пренятствія и т. д., то она представитъ не самую теплоту, а величину ея эквивалентную, которую можно выразить въ механическихъ единицахъ. Во всякомъ случаѣ то же количество горючаго матеріала въ организмѣ работающемъ производить менѣе тепла чѣмъ въ неработающемъ. Это кажется, съ перваго взгляда, противорѣчающимъ общезвѣстному явленію что работа согреваетъ. Но дѣло въ томъ что дыханіе при работѣ происходитъ сильнѣе, и потому больше поглощается кислорода и сжигается большее количество матеріала. Для оправданія положенія надобно сравнивать одинаковыя количества матеріала.

§ 215. Опыты Джоля *) для опредѣленія механическаго эквивалента теплоты. Опредѣлить механический эквивалентъ теплоты значитъ найти величину работы, которая, преобразуясь въ теплоту, доставляетъ количество теплоты равное единицѣ. Эту работу, наоборотъ, доставляетъ единица теплоты, когда теплота преобразуется въ работу. Для точнаго опредѣленія эквивалента Джоль прибѣгъ къ измѣренію количества теплоты возбуждаемой треніемъ. Въ сосудѣ B (фиг. 260) нѣсколько болѣе фута высотой, налитомъ водою или иною жид-



Фиг. 260.

костью, проходитъ вертикальная ось съ лопатками (она отдѣльно изображена слѣва на чертежѣ), приводимая въ вращеніе помощію шнура наматывающагося на блокъ. Опускающійся грузъ, заставляя блокъ вращаться, приводитъ въ движеніе ось съ лопатками. Жидкость сопротивляется движенію лопатокъ; обнаруживается треніе и, если паденіе груза повторить нѣсколько разъ, то можно обнаружить повышеніе температуры жидкости. Опытъ представляетъ переходъ механической работы въ теплоту. Дѣйствительно, если бы грузъ падалъ не увлекая лопатокъ, то онъ, двигаясь ускорительно, приобрѣлъ бы при высотѣ паденія 1.6 метра, какъ было въ опытѣ Джоля, значительную скорость 5.6 метра въ секунду; но вслѣдствіе сопротивленія лопатокъ онъ движется равномерно, приобрѣта весьма незначительную скорость 60 миллиметровъ въ секунду, — скорость съ какою онъ двигался бы если бы, напримѣръ, вмѣсто лопатокъ увлекать нѣкоторый грузъ близкій себѣ по вѣсу, подымать бы, напримѣръ, въ

*) Джоуль (Joule) англійскій ученый, первыя работы котораго относятся къ сороковымъ годамъ и исполнены въ Манчестерѣ.

ведры воду. Въ последнемъ случаѣ снарядъ производилъ бы *механическую работу*, ибо мы имѣли бы нѣкоторый грузъ (опредѣленное количество воды) поднятый на опредѣленную высоту. Величину работы получили бы помноживъ поднятый грузъ на пройденную высоту. Но такъ какъ поднятый грузъ былъ бы почти равенъ опускающемуся, то приблизительно величину работы мы получили бы, помноживъ вѣсъ опускающагося груза на высоту съ какой онъ опустился. Если бы, какъ въ опытѣ Джоля, грузъ вѣсилъ 26,3 килограмма, а высота была 1,6 метра, то работа была бы $26,3 \times 1,6 = 42,1$ килограмметра. Въ опытѣ Джоля никакого груза не подымалось, никакого вообще механическаго результата работы не получено: лопатки и вода послѣ опыта остались совершенно въ томъ же видѣ: какъ были до опыта; но дѣйствіе не прошло безслѣдно, въ результатѣ получено *нѣкоторое количество теплоты*, а именно, когда опусканіе груза было повторено сряду 20 разъ и когда слѣдовательно величина механической работы, если бы онъ производилъ таковую, была бы $42,1 \times 20 = 842$ килограмметра, температура калориметра представлявшаго собою 6,316 килограммовъ воды повысилась на $0,313$ стоградусаго термометра. Заключаемъ, что 842 килограмметра механической работы, преобразуясь въ теплоту, доставляютъ $6,316 \times 0,313 = 1,976$ единицъ теплоты. Но если работа 842 килограмметра соответствуетъ или *эквивалентна* 1,976 единицамъ теплоты, то одной единицы теплоты должна соответствовать работа $842 : 1,976 = 426,06$ килограмметра. Это и есть *механическій эквивалентъ теплоты*. При болѣе точномъ истолкованіи опыта Джоля получается 424,3 килограмметра, число почти не отличающееся отъ оправданнаго теоретическими соображеніями числа 425, принимаемаго нынѣ за точную величину механическаго эквивалента тепла.

§ 216. Энергія кинетическая и потенциальная. Переходъ работы въ теплоту и обратно есть одинъ изъ частныхъ случаевъ перехода явленій природы однихъ въ другія, подчиняющагося общему великому закону природы, именуемому *закономъ сохранения энергіи*. Тѣла движущіяся или находящіяся въ условіяхъ, могущихъ породить движеніе, считаются обладающими энергіей. Движущееся тѣло обладаетъ явною или *кинетическою энергіей*, называемою также *энергіей движенія*. Тѣло находящееся въ покоѣ, но подверженное дѣйствію силы и помѣщенное такъ что дѣйствіе это можетъ породить движеніе, имѣетъ *потенціальную энергію* или *энергію положенія*. Замѣтимъ что тѣло можетъ быть подвержено дѣйствію силы и не имѣть энергіи. Камень лежащій на землѣ подверженъ дѣйствію тяжести, прижимается къ землѣ; по онъ не имѣетъ запаса энергіи. „Грузъ, покоящійся на землѣ, не есть сила“, провозгласилъ въ своемъ первомъ мемуарѣ (1842 г.) основатель ученія объ энергіи,

докторъ Майеръ, — употребляя терминъ сила въ смыслѣ энергіи. Камень, поднятый на высоту, напротивъ того, обладаетъ запасомъ потенциальной энергіи, ибо дѣйствующая на него, — та же какъ и въ первомъ случаѣ, — сила тяжести имѣетъ теперь предстоящій путь, на протяженіи котораго она можетъ оказать дѣйствіе. Два тѣла, притягивающіяся взаимно и раздѣленные промежуткомъ, имѣютъ запасъ потенциальной энергіи; они не будутъ его имѣть какъ скоро ихъ взаимное влеченіе удовлетворится, и они придутъ въ прикосновеніе. Частицы кислорода, разсѣяныя въ атмосферѣ, и частицы угля каменноугольныхъ пластовъ земной коры имѣютъ химическое сродство. Пока соединеніе еще не произошло, мы имѣемъ предъ собою источникъ огромнаго запаса энергіи, которымъ можемъ воспользоваться. Уголь сгораетъ, соединяясь съ кислородомъ; сродство удовлетворено, образовавшееся тѣло уже не имѣетъ потенциальной энергіи, какою обладали его части до соединенія. Начало сохраненія энергіи состоитъ въ томъ, что *энергія неразрушима*, какъ неразрушимо само вещество. Энергія можетъ мѣнять форму: потенциальная преобразоваться въ кинетическую, кинетическая въ потенциальную; кинетическая сама перейти изъ одной формы въ другую, но абсолютно *энергія утрачиваться не можетъ*. Все разнообразіе явленій природы есть рядъ переходовъ энергіи изъ одной формы въ другую, причѣмъ общій ея запасъ остается неизмѣннымъ.

Укажемъ ближе примѣръ перехода энергіи изъ одной формы въ другую. Имѣемъ тѣло, на которое дѣйствуетъ сила. Если никакая другая сила не дѣйствуетъ на это тѣло, и оно свободно, то дѣйствіе силы проявится сообщеніемъ ему движенія или *кинетической энергіи* (или приращеніемъ этой энергіи въ случаѣ, если оно уже имѣетъ нѣкоторую скорость). Но пусть тѣло, на которое дѣйствуетъ рассматриваемая сила, подвержено въ то же время дѣйствію другихъ силъ, препятствующихъ его движенію отъ дѣйствія рассматриваемой силы. Пусть, напримѣръ, силою руки я подымаю грузъ, вопреки его тяжести, или завожу пружину, побѣждая ея упругость. Тогда кинетическая энергія, сообщаемая тѣлу дѣйствующею силой, будетъ менѣе чѣмъ въ первомъ случаѣ; сообщаемая кинетическая энергія можетъ даже равняться нулю: я поднялъ грузъ съ земли на крышу и оставилъ его тамъ въ покоѣ; я занелъ пружину и оставилъ ее въ напряженномъ состояніи, не давая развертываться. Я не сообщилъ тѣлу кинетической энергіи, но это еще не значитъ, чтобы дѣйствіе силы не привело ни къ какому результату. Тѣлу сообщена *потенціальная энергія*: грузъ поднятъ на высоту, откуда онъ можетъ упасть; пружина заведена и способна произвести дѣйствіе.

Но представимъ себѣ тѣло лежащее у поверхности земли на горизонтальной плоскости. Тѣло это не имѣетъ энергіи. По отношенію къ движенію по плоскости его можно рассма-

тривать свободнымъ, такъ какъ тяжесть на это движеніе не имѣетъ вліянія. Ставемъ везти это тѣло по плоскости съ постоянною скоростію. Чтобы произвести такое движеніе, мы должны постоянно тянуть тѣло, т.-е. дѣйствовать на него нѣкоторою силой. Это дѣйствіе не придаетъ тѣлу кинетической энергіи, ибо тѣло, какъ сказано, идетъ съ постоянною скоростію. Но тѣло чрезъ передвиженіе на другое мѣсто по горизонтальной плоскости не приобретаетъ также и потенциальной энергіи: дѣйствіе силы идетъ исключительно на то чтобы побѣждать *трение*. Здѣсь дѣйствіе, повидимому, утрачивается совсѣмъ, и начало сохраненія не имѣетъ мѣста. На самомъ дѣлѣ не такъ. Дѣйствіе не утрачивается; оно преобразуется лишь въ новую форму—тѣло получаетъ кинетическую энергію незамѣтную для наблюдателя, ибо она приобретаетъ не тѣломъ какъ цѣлымъ, а *частицами* тѣла. Трениемъ порождается тепло которое есть не что иное какъ *частичная кинетическая энергія тѣла*.

§ 217. Обзоръ съ точки зрѣнія механической теоріи явлений, сопровождающихъ нагрѣваніе тѣлъ. Когда тѣло приобретаетъ определенное количество тепла, то при этомъ вообще обнаруживаются слѣдующія дѣйствія: 1) увеличивается частная *кинетическая энергія* тѣла, т.-е. усиливается быстрота движенія его частицъ вслѣдствіе того что нагрѣвающий источникъ сообщаетъ нагрѣваемому тѣлу часть своего движенія. 2) Частицы удаляются одна отъ другой вопреки препятствіямъ какія противопоставляетъ передвиженію ихъ взаимодѣйствіе. Происходитъ явленіе подобное тому какое бываетъ когда грузъ вопреки тяжести подымается на высоту. Производится *внутренняя работа*, на которую и потребляется часть теплоты доставляемой нагрѣвающимъ тѣломъ. Передвинутыя частицы приобретаютъ, подобно поднятымъ грузамъ, *потенциальную энергію*. Когда передвиженіе частицъ достигло извѣстнаго предѣла, тѣло измѣняетъ состояніе переходить изъ твердаго въ жидкое, изъ жидкаго въ газообразное состояніе. Потребляемая внутреннею работою въ этомъ случаѣ теплота нагрѣвающего источника составляетъ то, что называется *скрытою теплотою*. Когда тѣло возвращается въ прежнее состояніе, потенциальная энергія его частицъ обращается въ кинетическую, скрытая теплота становится явною. 3) Тѣло, расширившись, побѣждаетъ вѣншее давленіе, подъ какимъ находится, и слѣдовательно производитъ *внѣшнюю работу*. Въ случаѣ нагрѣванія твердыхъ или жидкихъ тѣлъ расширеніе незначительно и вѣншая работа имѣетъ обыкновенно малую величину. Въ случаѣ расширяющагося газа, напрокинь, вѣншая работа играетъ важную роль, внутренняя же весьма незначительна, такъ что при нагрѣваніи газовъ можно принимать, что теплота источника идетъ лишь на два дѣйствія: увеличеніе кинетической энергіи, т.-е. возвышеніе температуры, и вѣншую ра-

боту, которую не трудно вычислить, зная давленіе подъ какимъ газъ находится. Вообще газообразныя тѣла разсматриваются какъ совокупность отдѣльныхъ частицъ, находящихся на такихъ разстояніяхъ, что взаимныя дѣйствія ихъ не замѣтны, и несущихся каждая отдѣльно своимъ прямолинейнымъ путемъ, причемъ частицы эти сталкиваются между собою, отбрасываясь взаимно, такъ что каждая отдѣльная частица проходитъ весьма ломаный путь состоящій изъ малыхъ прямолинейныхъ элементовъ. Давленіе газа есть результатъ мельчайшихъ ударовъ, которые его частицы производятъ на стѣнки заключающаго его сосуда. Движеніе составляющее явную теплоту *твердаго* тѣла есть движеніе *колебательное*. Частицы качаются около положеній равновѣсія не оставляя ихъ окончательно. Въ жидкихъ тѣлахъ частицы колеблѣсь и вращаясь могутъ при томъ перемѣнять мѣсто не оставляя общей массы.

Прибавимъ въ заключеніе, что если теплота есть движеніе частицъ тѣла, то покой этихъ частицъ есть абсолютный холодъ или *абсолютный нуль температуры*. Такъ какъ упругость газа при охлажденіи уменьшается на каждый градусъ на $\frac{1}{273}$ долю его упругости при 0°, то (если допустить законъ этотъ и при очень низкихъ температурахъ) при -273° газъ совсѣмъ утратитъ упругость: она будетъ = 0. А такъ какъ упругость газа есть слѣдствіе движенія его частицъ, то заключаемъ что частицы эти будутъ въ покоѣ. При такомъ (правда довольно произвольномъ) допущеніи, около -273° долженъ наступить абсолютный холодъ, и эта температура есть *абсолютный нуль* термометрической скалы. Если тѣло находится при t° , то $273 + t$, называютъ его *абсолютною температурою*.

IV. Лучистое дѣйствіе тѣлъ.

(ЛУЧИ СВѢТА И ТЕПЛОТЫ.)

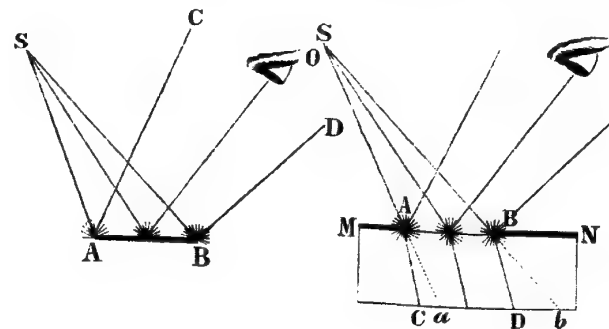
§ 218. Нагрѣвающее и освѣщающее дѣйствіе тѣлъ. Мы упоминали (§ 153) что нагрѣтыя тѣла непосредственно дѣйствуютъ на окружающіе предметы чрезъ пустоту, воздухъ, газы и вообще теплопрозрачныя тѣла. Тѣла высокой температуры, какъ солнце, пламя, раскаленные угли, кромѣ ощущенія тепла, возбуждаютъ въ насъ ощущеніе *свѣта*, дѣйствуя на глаза подобно тому какъ звучащія тѣла дѣйствуютъ на ухо. Благодаря этому дѣйствію, мы узнаемъ: 1) о существованіи такихъ *свѣтающихся тѣлъ*, 2) о существованіи

тѣла *темныя* сами по себѣ, но которыя будучи *освѣщены* дѣйствуютъ на глазъ точно такъ какъ и сами свѣтящіяся тѣла (луна, на примѣръ, тѣло темное, освѣщаемое солнцемъ, ночью свѣтитъ точно такъ какъ еслибъ имѣла собственный свѣтъ). Изученіе явленій тепла и свѣта во взаимной связи привело къ заключенію, что нагрѣваніе и возбужденіе ощущенія свѣта суть результаты одного и того же физическаго дѣйствія передаваемого нагрѣтымъ тѣломъ чрезъ *эфиръ* (§ 154) окружающимъ тѣламъ, и способнаго, когда оно удовлетворяетъ опредѣленнымъ условіямъ, раздражить зрительный нервъ. Подобно тому какъ не всякое дрожаніе порождаетъ звукъ, дѣйствіе нагрѣтаго тѣла, вообще порождающее теплоту, возбуждаетъ ощущеніе свѣта въ извѣстныхъ частныхъ случаяхъ. Возможность ощущать это дѣйствіе какъ свѣтъ облегчаетъ его изученіе, которое потому и начнемъ съ указанія главнѣйшихъ явленій свѣта, именуя *свѣтомъ* въ тѣсномъ смыслѣ *ощущеніе* доставляемое органомъ зрѣнія, а въ обширномъ и то явленіе которое способно возбудить это ощущеніе. Такъ понимается слово свѣтъ когда говорится о распространеніи отраженіи, скорости свѣта и т. п.

§ 219. Понятіе о лучахъ свѣта, какъ основаніе геометрической оптики. Принесемъ въ темную комнату свѣтящееся тѣло небольшихъ размѣровъ. Мы можемъ разсматривать его какъ свѣтящуюся точку. Не трудно убѣдиться что освѣщающее дѣйствіе его происходитъ по *прямымъ* линіямъ, идущимъ отъ него во всѣ стороны какъ отъ центра. Дѣйствительно: 1) глазъ видитъ эту точку по направленію проведенной отъ нея къ нему прямой линіи, и всякое непрозрачное препятствіе скрываетъ ее отъ глаза; 2) непрозрачное тѣло оставляетъ за собою пространство называемое *тѣнью*, куда не проникаетъ свѣтъ и границы котораго опре-

дѣляются *прямыми* линіями, проведенными отъ свѣтящейся точки какъ центра касательно къ контуру тѣла. Откуда идея о *лучахъ* свѣта по *прямымъ* линіямъ идущихъ во всѣ стороны отъ каждой свѣтящейся точки. Принявъ такое начало *прямолинейнаго* распространенія свѣта, мы можемъ изучать цѣлый рядъ вопросовъ о направленіи *свѣтовыхъ лучей*, независимо отъ теоретическаго представленія о томъ что *физически* происходитъ въ средахъ гдѣ распространяется свѣтъ. Эти вопросы составляютъ область *геометрической оптики*.

Согласно началу прямолинейнаго распространенія свѣта, явленіе *освѣщенія* мы представляемъ себѣ слѣдующимъ образомъ. Когда свѣтъ попадаетъ на поверхность освѣщаемаго тѣла, то, если тѣло это *непрозрачно*, 1) часть свѣта, проникая внутрь тѣла, имѣетъ поглощается, 2) другая часть *разсѣивается* такимъ образомъ, что каждая точка поверхности тѣла становится сама центромъ, отъ котораго, внѣ тѣла, во всѣ стороны идутъ лучи; эти-то лучи и позволяютъ намъ видѣть освѣщенный предметъ, дѣйствующій такимъ образомъ на нашъ глазъ точно также какъ еслибъ онъ былъ свѣтящейся; 3) часть *отражается* по опредѣленному направленію, такъ что падающій пучокъ *ASB* (фиг. 261) принимаетъ новое направленіе *CABD*, и если



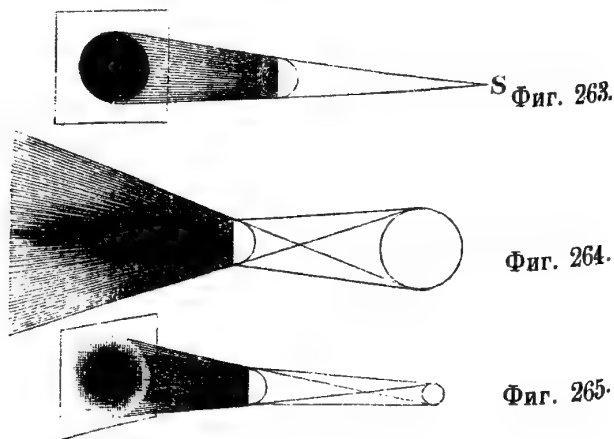
Фиг. 261.

Фиг. 262.

глазъ будетъ находиться, на примѣръ, въ *O*, то онъ получитъ, кромѣ лучей доставляемыхъ разсѣяніемъ на чертежѣ ихъ начало намѣчено короткими штрихами, — лучи отраженные, приносящіе свѣдѣніе не объ освѣщенномъ предметѣ, а о свѣтящейся точ-

кѣ; и чѣмъ правильное отраженіе сильнѣе, тѣмъ менѣе замѣтна сама отражающая поверхность (зеркало). Если тѣло *прозрачно*, то только часть проникающаго внутрь свѣта поглощается; другая часть разсѣвается внутрь, и наконецъ значительная часть проникнувшихъ лучей измѣняетъ направление, — *преломляется*. Фиг. 262 даетъ понятіе о разсѣяніи и преломленіи пучка проникающаго чрезъ поверхность *AB* прозрачнаго тѣла и который еслибы не было преломленія освѣтилъ бы пространство *ab*, вслѣдствіе же преломленія освѣщающаго *CD*.

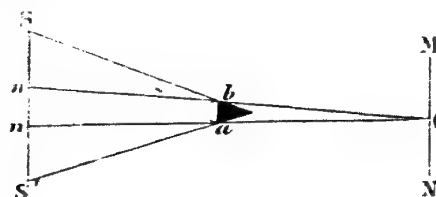
§ 220. Приложение начала прямолинейнаго распространения къ объясненію явленія тѣни и полутѣни. Если свѣтящійся предметъ есть *точка*, то, какъ сказано, границы *тѣни* опредѣляются прямыми линіями, проведенными отъ этой точки какъ вершины къ контурамъ тѣла (фиг. 263). Если свѣтящійся предметъ



есть цѣлое свѣтящееся тѣло (какъ въ практикѣ всегда и бываетъ), то каждая его точка даетъ свой пучокъ задерживаемый непрозрачнымъ тѣломъ, и пространство за этимъ тѣломъ, куда не достигаетъ ни одинъ лучъ, образуетъ *полную тѣнь*, пространство же куда достигаютъ лучи лишь отъ нѣкоторой части свѣтящагося тѣла образуетъ *полутѣнь*.

Фиг. 264 и фиг. 265 изображаютъ предѣлы тѣни и полутѣни въ случаѣ когда свѣтящее и освѣщенное тѣло суть шары. На фиг. 265 шаръ освѣщающій менѣе освѣщаемого, на фиг. 264 болѣе (какъ бываетъ, напримѣръ, въ случаѣ солнца и земли или луны). Существованіемъ полутѣни объясняется то обстоятельство, что тѣнь предметовъ, освѣщаемыхъ солнцемъ, свѣчею, лампою и т. п., не имѣетъ рѣзкихъ очертаній. Волось, тонкая проволока и т. п., выставленные на солнце или освѣщаемые близко стоящею лампою съ широкимъ фитилемъ не даютъ замѣтной тѣни на разстояніи нѣсколькихъ дюймовъ за собою. Въ этихъ случаяхъ полная тѣнь простирается на самое незначительное разстояніе.

Въ случаѣ, напримѣръ, проволоки толщиною въ $\frac{1}{4}$ миллиметра, освѣщенной солнцемъ (угловая величина котораго около полуградуса), точка *C* экрана отстоящаго на 20 сантиметровъ отъ проволоки освѣщается всѣмъ солнцемъ за исключеніемъ узкой полосы *mn* (фиг. 267), ширина которой менѣе $\frac{1}{10}$ доли діаметра солнца, такъ что разница освѣщенія этой точки отъ какой-либо сосѣдней точки не замѣтна для глаза.



Фиг. 266.

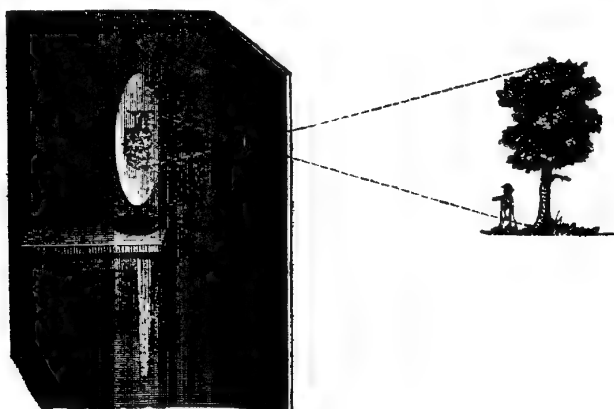
Геометрическаго начала прямолинейнаго распространения свѣта достаточно для объясненія явленія тѣни и полутѣни, какъ оно обыкновенно наблюдается. Но изученіе тѣни, бросаеюй край непрозрачнаго экрана, узкимъ тѣломъ или узкою щелью, когда освѣщающій предметъ можно рассматри-



Фиг. 267.

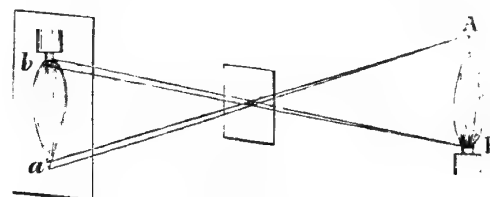
вать какъ одну свѣтящуюся точку (или линію) доказываетъ что это геометрическое представленіе не есть точное выраженіе физическаго явленія. Въ строгомъ смыслѣ, препятствіе (фиг. 267) на пути лучей идущихъ изъ свѣтящейся точки *S*, не ограничиваетъ ея дѣйствія геометрическимъ предѣломъ *A*: свѣтъ проникаетъ отчасти внутрь геометрической тѣни, а въ освѣщенномъ мѣстѣ даетъ темныя и свѣтлыя полосы. Тѣнь волоса, освѣщеннаго лучами выходящими изъ одной точки, является въ видѣ ряда свѣтлыхъ воймъ, далеко выступающихъ за предѣлы геометрической тѣни и т. д. Это явленіе называется *дифракціей* свѣта.

§ 221. Образованіе изображеній въ темной комнатѣ чрезъ отверстіе въ ставнѣ. Еще неаполитанскій ученый конца XVI вѣка, Баптистъ Порты (въ сочиненіи *Magia naturalis*, 1560 г.), обратилъ вниманіе ученыхъ на это явленіе. „Закроемъ, говоритъ онъ, всѣ окна комнаты и озаботимся чтобы не было отдушны и не проникъ какъ-либо сторонній свѣтъ который разрушилъ бы явленіе... Но одно мѣсто, въ падень шириною и длиною, прорѣжемъ въ ставнѣ, наложимъ на него и закрѣпимъ тонкую свинцовую или мѣдную доску, въ срединѣ которой сдѣлаемъ круглое отверстіе въ ширину малаго пальца. Расположимъ такъ чтобы противъ отверстія была бѣлая стѣна или бумажный экранъ, или



Фиг. 268.

бѣлое полотно. Тогда (фиг. 268) внѣшніе предметы освѣщенные солнцемъ и мимоходящіе люди представляются тамъ какъ антиподы (верхъ ногами) и что находится направо изобразится налѣво. И чѣмъ дальше изображеніе отъ отверстія, тѣмъ оно представится больше“. Подобное явленіе можно произвести въ простѣйшей формѣ, если въ темной комнатѣ предъ свѣчкой поставить непрозрачное препятствіе съ маленькою дырочкой и принять изображеніе на экранѣ (фиг. 269). Явленіе объясняется прямолиней-



Фиг. 269.

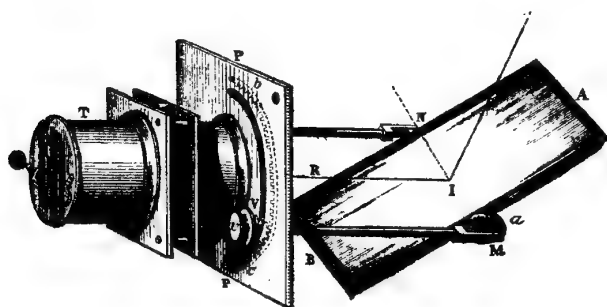
нымъ распространеніемъ свѣта. Лучи отъ верхней точки *A* свѣчи проникаютъ тонкимъ пучкомъ прямолинейно чрезъ отверстіе и даютъ на экранѣ вверху маленькое пятно той формы какъ отверстіе. Лучи отъ точки *B* даютъ пучокъ *B'* рисующій пятно внизу экрана. Подобнымъ образомъ и каждая другая точка свѣчи даетъ свой пучокъ и свое пятно на экранѣ. Совокупность этихъ пятенъ образуетъ подобіе предмета съ неясными очертаніями, такъ какъ каждой свѣтящейся точки на экранѣ соответствуетъ цѣлое пятно. Такъ какъ пучки эти пересѣкаются въ отверстіи, то лучи отъ верхней части предмета падаютъ на нижнюю часть экрана, отъ нижней на верхнюю, справа налѣво; и потому изображеніе получается обратное.

Когда не знали употребленія зрительныхъ трубъ, то наблюдали солнечныя затменія, пропуская лучи чрезъ малое отвер-

стие въ ставнѣ и принимая изображеніе солища на прилично поставленномъ экранѣ.

Тѣнь бросаемая деревомъ покрытымъ листьями представляетъ усѣянню круглыми пятнышками: это суть изображенія солища, образованныя малыми отверстиями или промежутками разнообразной формы, какіе листья оставляютъ между собою. Во время затмѣнія, когда луна загораживаетъ часть солища, пятна эти имѣютъ серпообразный видъ. Если, растопыривъ немного пальцы одной руки, наложить на нихъ перпендикулярно пальцы другой, такъ чтобъ образовался родъ рѣшетки съ четверугольными отверстиями, и бросить ихъ тѣнь отъ солища, то увидимъ что каждое четверугольное отверстие дастъ круглую тѣнь—изображеніе солища. Но если принять тѣнь близко отъ рукъ, то пятна будутъ четверугольными какъ самыя промежутки. Вообще, сдѣлавъ въ картонѣ нѣсколько отверстій разной величины и формы и бросая на разныхъ расстояніяхъ тѣнь отъ солища, лампы, свѣчи и т. п., получаемъ рядъ явленій объясняющихся прямолинейнымъ распространениемъ свѣта.

§ 222. Употребленіе темной комнаты и метода проложеній для изученія оптическихъ явленій. Пучокъ лучей, входящихъ черезъ малое отверстіе въ темную комнату, самъ по себѣ невидимъ, но встрѣчая экранъ, онъ освѣщаетъ его, образуя свѣтлое пятно разсѣивающее лучи во все стороны и представляю-



Фиг. 270.

щее неясное изображеніе свѣтящагося предмета отъ котораго вышли лучи, напримѣръ солища, если въ комнату пропущены солнечные лучи. Если желаемъ чтобъ очертанія изображенія были рѣзки, то должны прибѣгнуть къ оптическимъ приборамъ, о которыхъ будемъ говорить ниже. Въ дѣйствительности впрочемъ, путь луча можно замѣтить на всемъ протяже-

ніи отъ отверстія до экрана вслѣдствіе освѣщенія мелкихъ пылинокъ всегда въ большомъ количествѣ находящихся въ воздухѣ и разсѣивающихъ свѣтъ. Разсѣяніе солнечныхъ лучей частицами атмосферы облакающей землю (отчасти частицами самого воздуха, а главное частицами постороннихъ тѣлъ въ крайне раздробленномъ состояніи присутствующихъ въ воздухѣ) есть причина освѣщающаго дѣйствія небеснаго свода, который иначе представился бы темнымъ. Пучокъ солнечныхъ лучей впущенный черезъ отверстіе имѣетъ наклонное направленіе. Чтобы дать ему болѣе удобное для опытовъ, горизонтальное, направленіе, солнечные лучи пропускаютъ въ комнату не прямо, а отразивъ предварительно отъ зеркала (фиг. 270), выставленнаго снаружи ставни и которое можно поворачивать по мѣрѣ передвиженія солища по небесному своду.

Помѣщая на пути лучей отражающія поверхности или прозрачныя тѣла различнаго вида и качества, и наблюдая перемѣненія и измѣненія изображеній, пролагающагося на экранѣ а также видимый слѣдъ лучей, можно обнаружить, въ рѣзко наглядной формѣ, все главныя оптическія явленія. Такой способъ наблюденія и показанія оптическихъ явленій называется методомъ *оптическихъ проложеній*. Другой способъ изучать оптическія явленія, болѣе деликатный и точный чѣмъ первый и не требующій чтобы источникъ свѣта былъ яркій, называется *субъективнымъ* и состоитъ въ томъ что наблюдатель прямо принимаетъ лучи въ свой глазъ и изучаетъ то что представляется ему въ полѣ зрѣнія. Глазъ служитъ орудіемъ наблюденія и въ первой методѣ, но тамъ онъ есть лишь средство замѣтить со стороны путь лучей въ пространствѣ, тогда какъ въ субъективной методѣ глазъ составляетъ часть оптическаго аппарата, съ которымъ производится опытъ, и для уясненія явленія мы должны прослѣдить пучекъ лучей не только внѣ, но и внутри наблюдающаго глаза до нервной оболочки на которую онъ дѣйствуетъ.

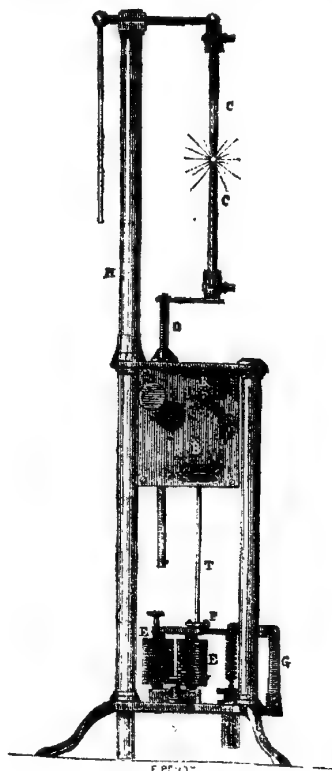
Говоря о методѣ проложеній мы предполагали что свѣтящееся тѣло есть солище. Но такъ какъ солнечными лучами можно пользоваться не во всякое время и не при всякомъ расположеніи комнаты, то для производства и особенно для показанія оптическихъ опытовъ на лекціяхъ, прибѣгаютъ къ другимъ яркимъ источникамъ свѣта; и во первыхъ къ *электрическому свѣту*. Внутри фонаря часть котораго изображена на фиг. 271, помѣщаютъ снарядъ именуемый *регуляторомъ* электрическаго свѣта (фиг. 272). Свѣтъ образуется между угольми, концы которыхъ раскаляются гальваническимъ



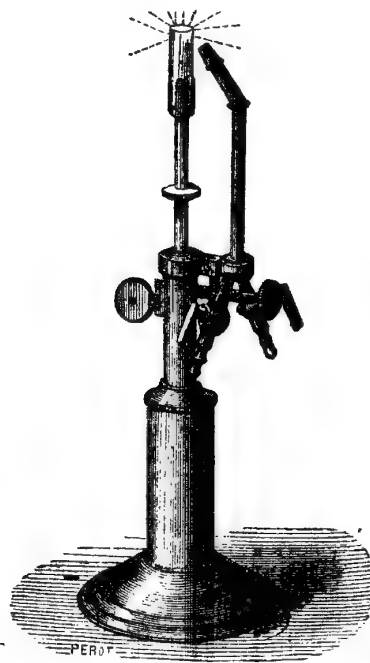
Фиг. 271.

Свѣтъ образуется между угольми, концы которыхъ раскаляются гальваническимъ

токомъ и удерживаются на определенномъ разстояніи между собою помощью особаго механизма, дѣйствующаго тѣмъ же токомъ. Стекло *C* въ передней части фонаря (фиг. 271) соединяетъ расходящіеся отъ углей лучи въ широкій пучекъ лучей приблизительно параллельныхъ. Еслибы мы приняли этотъ пучекъ на экранъ, то получили бы широкое пятно неравномерно освѣщенное и безъ рѣзкаго очертанія. Чтобы дать изображенію на экранѣ отчетливое и правильное очертаніе, предъ стекломъ *C* помѣщаютъ діафрагму съ круглымъ или узкимъ прямоугольнымъ прорѣзомъ; впереди діафрагмы ставятъ еще стекло, которое будучи поставлено на надлежащемъ разстояніи даетъ на экранѣ отчетливое изображеніе прорѣза. Сведенные стекломъ приблизительно въ одну точку, лучи отъ этой точки до экрана идутъ, образуя слабо расходящійся во-



Фиг. 272.



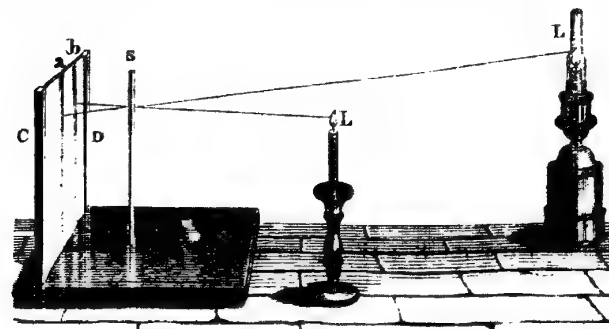
Фиг. 273.

нической пучекъ. Рефлекторъ *A* служитъ къ тому чтобы не терялись лучи, идущіе къ задней части фонаря. Онъ возвращаетъ ихъ къ источнику.

Электрический свѣтъ можно замѣнить *Друммондовымъ* (по имени англійскаго ученаго Друммонда, въ двадцатыхъ годахъ нынѣшняго столѣтія), то-есть свѣтомъ раскаленнаго куска мѣла или извести нагрѣваемаго воспламененною струей водорода смѣшаннаго съ кислородомъ. Фиг. 273 даетъ понятіе о снарядѣ употребляемомъ для этой цѣли.

§ 223. Сравненіе силы свѣта двухъ источниковъ; метода Румфорда. Кромѣ направленія дѣйствія свѣтящагося тѣла мы различаемъ оптическую силу этого дѣйствія, о которой судимъ по степени освѣщенія имъ производимаго. При этомъ, дабы обозначить что дѣйствіе свѣтящагося тѣла въ одномъ случаѣ сильнѣе чѣмъ въ другомъ, говоримъ что количество свѣта или число лучей доставляемыхъ стекломъ на единицу сферической поверхности определенного радіуса, въ центрѣ которой воображаемъ тѣло, въ одномъ случаѣ болѣе чѣмъ въ другомъ.

Для сравненія на опытѣ силы освѣщенія двухъ источниковъ одинъ изъ главныхъ способовъ есть способъ сравненія тѣней, введенный Румфордомъ. Фиг. 274 даетъ понятіе объ этомъ способѣ. Имѣемъ,



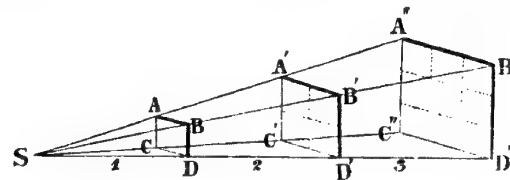
Фиг. 274.

говорить Румфордъ, двѣ горящія свѣчи, лампы или
20*

два другіе какіе-либо источника свѣта и желаемъ сравнить ихъ между собою. Помѣстимъ ихъ въ темной комнатѣ на равной высотѣ, на двухъ подвижныхъ подставкахъ и натянемъ на стѣнѣ, на той же высотѣ, бѣлую бумагу. Помѣстимъ источники футовъ въ 6 или 8 отъ такого экрана, на разстояніи одинъ отъ другаго тоже въ 6 или 8 футовъ, такъ чтобы линія, проведенная отъ центра бумаги перпендикулярно къ ея поверхности, раздѣляла пополамъ уголъ образуемый линіями, проведенными отъ источниковъ къ этому центру... Затѣмъ поставимъ предъ центромъ бумаги, въ разстояніи двухъ или трехъ дюймовъ, небольшой вертикальный деревянный цилиндръ около $\frac{1}{4}$ дюйма въ діаметрѣ и 6 дюймовъ длиною, такъ чтобы обѣ тѣни, бросаемыя источниками, были явственно видны. Если онѣ не равной густоты, что почти всегда и бываетъ, то источникъ соответствующій болѣе густой тѣни надо отодвинуть, или другой приблизить до тѣхъ поръ пока густота тѣней будетъ одинакова, и слѣдовательно количество лучей попадающихъ отъ того и другаго источника на бумагу одинаково. Измѣримъ разстоянія источниковъ отъ центра бумаги (собственно отъ соответствующихъ тѣней, но такъ какъ тѣни находятся почти въ центрѣ, то это приводилось къ тому же). Отношеніе квадратовъ этихъ разстояній выразитъ отношеніе силы освѣщенія изслѣдуемыхъ источниковъ. Такъ если, на примѣръ, болѣе слабый свѣтъ на разстояніи 4 футовъ отъ центра бумаги даетъ тѣнь одинаковой силы какъ тѣнь болѣе сильного источника, отодвинутаго на 8 футовъ отъ центра, то отношеніе силы ихъ свѣта будетъ 8^2 къ 4^2 или 64 къ 16, или 4 къ 1. Такъ и для другихъ разстояній“.

Такой способъ сравненія основывается на томъ началѣ, что освѣщающее дѣйствіе, какъ и всякое иное распространяющееся одинаково во всѣ стороны отъ центра, уменьшается пропорционально квадрату разстоянія. Очевидно, что то количество

свѣта, которое падаетъ (фиг. 275) на площадь $ABCD$, разстиляется, при удаленіи освѣщаемой плоскости, — вследствие прямолинейности распространения, — на большей площади $A'B'C'D'$, $A''B''C''D''$ и т. д. А такъ какъ площади эти относятся между собою какъ квадраты соответствующихъ разстояній: площадь $A'B'C'D'$, находящаяся на двойномъ разсто-



Фиг. 275.

яніи, вчетверо, $A''B''C''D''$, находящаяся на тройномъ разстояніи, вдевятиро болѣе площади $ABCD$ и т. д., — то на равныя части попадаетъ лучей на экранѣ $A'B'C'D'$ вчетверо, на $A''B''C''D''$ вдевятиро менѣе чѣмъ на экранѣ $ABCD$: освѣщеніе слѣдовательно должно уменьшаться пропорціонально квадрату разстоянія. Предыдущее разсужденіе относится къ случаю свѣтящейся точки, но опытъ показываеъ что законъ квадратовъ разстояній съ достаточною точностію прилагается и къ случаю свѣтящихся тѣлъ небольшихъ размѣровъ. Румфордъ помѣщалъ съ одной стороны двѣ восковыя свѣчи, по предварительномъ испытаніи оказавшіяся горящими съ одинаковою яркостію; съ другой Аргантову лампу. Оказалось, что лампу надлежало поставить на 100 дюймовъ отъ центра бумаги, а двѣ свѣчи на 60,8 дюйма, чтобы бросаемыя тѣни были одинаковы. Затѣмъ одна изъ свѣчъ была удалена, оставшуюся надлежало приблизить на разстояніе 43,4 дюйма, чтобы вновь уравновѣсить освѣщеніе лампы. Такъ какъ сила освѣщенія двухъ одинаковыхъ свѣчъ вдвое болѣе одной, то, если законъ оправдывается, квадраты разстояній, — изъ которыхъ одно 60,8 дюймовъ, другое 43,4, — должны относиться между собою какъ 2 къ 1. Дѣйствительно, $60,8^2 = 3696,64$; $43,4^2 = 1883,56$ приблизительно относится какъ 2 къ 1.

Главное затрудненіе при сравненіи силы освѣщенія по методѣ тѣней, какъ и вообще при фотометрическихъ измѣреніяхъ, происходитъ отъ того что глазъ можетъ сравнивать только лучи одинаковаго цвѣта, и если источники даютъ лучи разнаго цвѣтнаго оттѣнка, что весьма часто встрѣчается (свѣтъ свѣчи имѣетъ, на примѣръ, болѣе оранжевый оттѣнокъ чѣмъ свѣтъ фотогоеновой лампы, то точное сравненіе перестаетъ быть возможнымъ. Мы можемъ имѣть только самое грубое сужденіе о сравнительной яркости лучей разнаго цвѣта.

§ 224. Видимая яркость свѣтящагося тѣла. Силу освѣщенія источника не должно смѣшивать съ его яркостью. Источникъ имѣющій большую поверхность можетъ освѣщать съ такою же силою какъ другой болѣе яркій, но меньшихъ размѣровъ. Чтобы сравнивать ихъ яркости мы должны ихъ привести мысленно къ одинаковой поверхности. Такъ если сила свѣта перваго источника есть A , втораго, помѣщеннаго въ тѣхъ же условіяхъ, — B ; поверхность же перваго S , втораго S' ; то раздѣливъ A на S и B на S' , получимъ количества свѣта доставляемыя единицею поверхности въ томъ и другомъ случаѣ и отношеніе $\frac{A}{S} : \frac{B}{S'}$ будетъ отношеніе яркостей.

Когда мы прямо принимаемъ лучи въ глазъ, то выводимъ заключеніе не о силѣ освѣщенія, а о *видимой яркости* сравниваемыхъ источниковъ. Какъ тотъ, такъ и другой въ маломъ видѣ изображаются на внутренней поверхности глаза, чувствительной для свѣта. Если эти изображенія, хотя и разной величины, одинаково ярки, то-есть если на равныя части глазной поверхности отъ того и другаго источника падаетъ по равному количеству свѣта, то заключаемъ что источники равной яркости. Наоборотъ, источникъ большихъ размѣровъ, по силѣ освѣщенія превосходящій другой меньшихъ размѣровъ, можетъ имѣть меньшую видимую яркость, о чемъ заключимъ чрезъ сравненіе *равныхъ частей* ихъ изображеній. При сравненіи *силы освѣщенія* лучи, какъ мы видѣли, не поступаютъ прямо въ глазъ, а освѣщаютъ матовую поверхность, и глазъ принимаетъ ихъ разсѣянную часть, при чемъ опытъ располагается такъ, чтобы часть эта составляла для того и другаго источника одинаковую долю полнаго количества падающихъ лучей и слѣдовательно сравненіе разсѣянныхъ лучей было бы равносильно съ сравненіемъ всего количества лучей падающихъ на освѣщаемую поверхность.

Видимая яркость источника не измѣняется, стоитъ ли онъ близко отъ глаза или находится далеко. Двѣ свѣчи, одна на разстояніи сажени, другая въ десяти сажняхъ представляются одинаково яркими (воздухъ предполагаемъ вполне прозрачнымъ), ибо хотя количество свѣта доставляемое первому въ 100 (десять въ квадратъ, согласно закону уменьшенія силы освѣщенія пропорціонально квадрату разстоянія) меньше чѣмъ второй, но за то площадь изображенія рисующагося внутри глаза въ первомъ случаѣ въ 100 разъ меньше, слѣдовательно на равныя поверхности попадаетъ одинаковое количество свѣта. Еслибы солнце удалилось вдвое дальше, то казалось бы вдвое меньше, но той же яркости.

§ 225. Фотометрическая метода Бунзена. Кромѣ методы тѣмъ, для сравненія силы свѣта разныхъ источниковъ весьма употребительна другая метода, указанная профессоромъ химіи въ Гейдельбергѣ Бунзеномъ. Если, сдѣлавъ на бумагѣ пятно масляное или стеариновое, держать ее предъ свѣчей, то мѣсто

пропитанное жирнымъ веществомъ какъ болѣе прозрачное, пропуститъ болѣе лучей и будетъ казаться свѣтлѣе остальной бумаги. Напротивъ, если помѣстить глазъ на той же сторонѣ гдѣ свѣча, то пятно покажется темнѣе, ибо бѣлая бумага отражаетъ болѣе лучей чѣмъ покрытая масломъ. Помѣстимъ такую бумагу на неизмѣнномъ разстояніи предъ источникомъ свѣта по возможности постояннымъ и станемъ подносить къ ней первый изъ двухъ источниковъ которые хотимъ сравнить. Не трудно поставить этотъ источникъ на такомъ разстояніи что глазъ не будетъ отличать пятна отъ остальной бумаги (это будетъ когда избытокъ пропускаемыхъ пятномъ лучей уравнивается избыткомъ отражаемыхъ отъ непокрытой части). Пусть источникъ находится въ такомъ случаѣ на разстояніи a отъ бумаги. Если замѣнивъ первый источникъ вторымъ, найдемъ что второй надо поставить на разстояніи b чтобы пятно исчезло, то очевидно $a^2 : b^2$ будетъ отношеніе силы свѣта двухъ источниковъ. Вмѣсто того чтобы дѣлать жирное пятно, можно просто сдѣлать вырѣзку въ бумагѣ и помѣстить эту бумагу между двумя другими. Мѣсто гдѣ находится вырѣзка будетъ просвѣчивать сильнѣе чѣмъ остальная часть, гдѣ тройной слой бумаги.

Отраженіе лучей.

§ 226. Поверхности правильно отражающія или зеркальныя. Полированная поверхность твердаго тѣла, поверхность ртути или иной жидкости суть примѣры поверхностей правильно отражающихъ лучи или *зеркальныхъ*. Полированная поверхность, по самому происхожденію своему (полируютъ тѣла, натирая ихъ тончайшими порошками веществъ способныхъ ихъ чертить) есть поверхность *исчерченная*, по которой бороздки и вообще неровности имѣютъ очень малую величину. Если неровности эти еще не довольно малы, то поверхность разсѣиваетъ свѣтъ безъ правильного отраженія, которое наступаетъ лишь когда неровности не превышаютъ извѣстнаго предѣла. При этомъ чѣмъ слабѣе разсѣяніе и сильнѣе правильное отраженіе тѣмъ зеркало совершеннѣе. Еслибы весь отбрасываемый свѣтъ состоялъ изъ правильно отраженнаго, то сама зеркальная поверхность вовсе не была бы замѣтна и намъ казалось бы что смотримъ чрезъ отверстіе за которымъ стоятъ предметы.

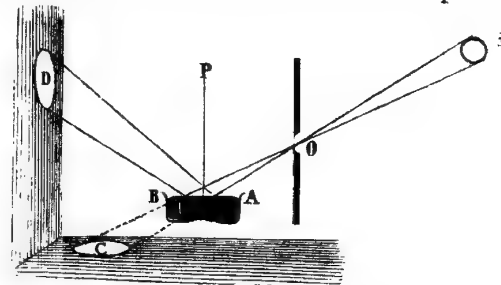
Прибавимъ что и *матовыя* поверхности, какъ напримѣръ листъ бумаги, вообще разсѣвающія свѣтъ во всѣ стороны, становятся правильно отражающими, если помѣстить глазъ при самой поверхности, такъ чтобы получать свѣтъ въ весьма косвенномъ направленіи. Тогда глубины мелкихъ бороздокъ не видны для глаза, и свѣтъ достигаетъ его лишь отъ точекъ, лежащихъ приблизительно въ одной плоскости.

Зеркала, по формѣ поверхности, бываютъ *плоскія*, *вогнутыя* и *выпуклыя*. По матеріалу они бываютъ: *металлическія*, напримѣръ, изъ сплава мѣди и олова; обыкновенныя *стеклянные* у которыхъ на заднюю поверхность наведена ртутная амальгама или, какъ нынѣ нерѣдко дѣлается, наложенъ тонкій слой *серебра* осажденнаго химическимъ путемъ. Такія зеркала представляютъ двѣ отражающія поверхности—стеклянную и металлическую; но отраженіе отъ *металлической* поверхности гораздо значительнѣе силы *отраженія* стекла.

Чтобы имѣть зеркало съ одною *стеклянною* поверхностью, заднюю поверхность *стеклянной* доски зачерняютъ и чрезъ то лишаютъ *отражающей* способности. Наконецъ, бываютъ зеркала съ *металлическою* поверхностью, но сдѣланныя изъ *стекла*, покрытаго съ *наружной* стороны тонкимъ слоемъ *серебра*, осажденнаго химическимъ путемъ и отполированнаго легкимъ *натираніемъ*. Такъ какъ стекло есть матеріалъ, сравнительно съ *металлами*, легко обрабатываемый, то этимъ способомъ можно получить весьма совершенныя въ *оптическомъ* отношеніи *металлическія* зеркала (зеркала французскаго ученаго Фуко) значительно легче чѣмъ еслибы готовить все зеркало изъ *металла*.

§ 227. **Законы правильного отраженія свѣта.** Если пропустить въ темную комнату черезъ малое отверстіе въ ставнѣ (фиг. 276) пучекъ солнечныхъ лучей, то получимъ на полу или вообще на принимающей *лучи* поверхности округлое изображеніе *C* солнца. Но если гдѣ-нибудь пересѣчемъ пучекъ *зеркаломъ*,— поставимъ напримѣръ въ *AB* сосудъ со ртутью, то пучекъ отклонится и изображеніе перемѣстится въ *D*.

Проведемъ перпендикуляръ къ зеркалу въ томъ мѣстѣ гдѣ падаетъ на него пучекъ (практически, въ случаѣ сосуда со ртутью такимъ перпендикуляромъ можетъ служить нить съ грузомъ) и назовемъ *уголъ*, который падающій лучъ, или точнѣе *центральный лучъ*



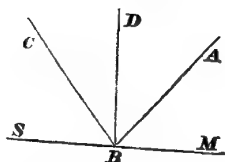
Фиг. 276.

падающаго пучка дѣлаетъ съ перпендикуляромъ—*уголъ паденія*; *уголъ* отраженнаго луча съ перпендикуляромъ—*уголъ отраженія*; плоскость проходящую чрезъ падающій лучъ и перпендикуляръ паденія—*плоскостію паденія*. Можно убѣдиться: 1) что *уголъ паденія* и *уголъ отраженія* находятся въ одной *плоскости* (другими словами: *отраженный лучъ* остается въ *плоскости паденія*); 2) что: *уголъ паденія* равенъ *углу отраженія*. Если *уголъ паденія* равенъ 0, то есть лучъ падаетъ перпендикулярно на зеркало, то и *уголъ отраженія* = 0: лучъ возвращается назадъ по тому же пути какъ пришелъ.

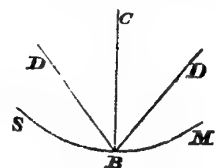
Вмѣсто солнечнаго свѣта для нагляднаго оправданія законовъ отраженія можно воспользоваться электрическимъ свѣтомъ, поставивъ зеркало за стекломъ пролагающимъ на экранѣ изображеніе небольшого круглаго отверстія въ *диафрагмѣ* фонаря. Вслѣдствіе отраженія лучей отъ зеркала изображеніе перемѣстится.

§ 228. **Геометрическое построеніе отраженнаго луча по данному падающему.** На основаніи законовъ отраженія не трудно, зная направленіе падающаго луча, графически изобразить направленіе отраженнаго. Такъ,

въ случаѣ плоскаго зеркала (фиг. 277), достаточно возставить перпендикуляръ въ точкѣ паденія и построить уголъ $\angle ABD = \angle CBD$. Въ случаѣ сферическаго,

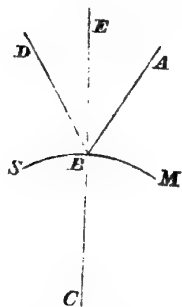


Фиг. 277.

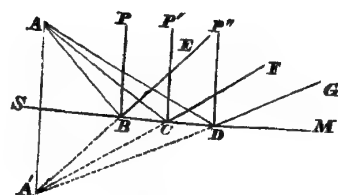


Фиг. 278.

вогнутого (фиг. 278) или выпуклаго (фиг. 279), перпендикуляромъ паденія служить радиусъ, проведенный чрезъ точку паденія: отраженный лучъ долженъ дѣлать съ нимъ уголъ равный углу падающаго.



Фиг. 279.

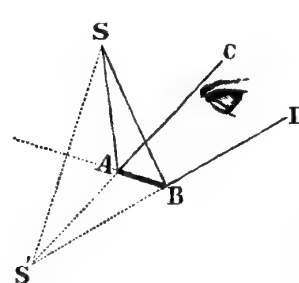


Фиг. 280.

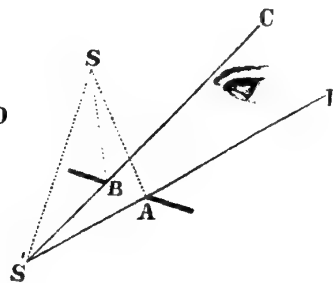
§ 229. Отраженіе отъ плоскаго зеркала пучка лучей, выходящаго изъ одной точки. Если на плоское зеркало падаетъ (фиг. 280) цѣлый пучекъ лучей, выходящихъ изъ одной точки A, то построивъ нѣсколько отраженныхъ лучей, не трудно убѣдиться что всѣ они имѣютъ общую точку пересѣченія A', лежащую на перпендикулярѣ, опущенномъ изъ точки A на зеркало и продолженномъ за зеркаломъ на такое разстояніе, на какомъ точка A находится предъ зеркаломъ; другими словами: $AS = SA'$.

Это свойство чертежа есть прямое слѣдствіе законовъ отраженія, какъ легко доказать помощью простыхъ геометрическихъ соображеній. Возьмемъ какой-нибудь одинъ изъ отраженныхъ лучей, на примѣръ CF и найдемъ точку A' гдѣ его продолженіе за зеркаломъ, намѣченное пунктиромъ, пересѣкаетъ перпендикуляръ AS. Изъ равенства треугольниковъ ACS и SCA' (у которыхъ сторона SC общая, при S углы прямые и уголъ $\angle ACS = \angle SCA'$, ибо $\angle ACS = \angle FCM$ по закону отраженія, а $\angle FCM = \angle SCA'$ какъ вертикальные) слѣдуетъ что $AS = SA'$. То же докажемъ для всякаго другаго луча. Слѣдовательно A' есть общая точка пересѣченія отраженныхъ лучей съ перпендикуляромъ опущеннымъ изъ свѣтящейся точки на зеркало.

Точка A' называется изображеніемъ точки A, и можно сказать что лучи, выходящіе изъ одной точки, по отраженіи отъ плоскаго зеркала, образуютъ расходящійся пучекъ точно такой, какой образовали бы еслибы зеркала не было, а они выходили изъ точки A', находимой упомянутымъ построеніемъ. Для глаза зрѣлище таково какъ еслибы вмѣсто зеркала



Фиг. 281.



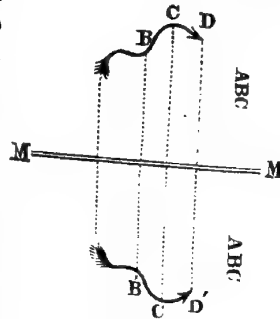
Фиг. 282.

ла AB (фиг. 281) было отверстіе BA (фиг. 282) за которымъ была бы свѣтящаяся точка S'.

§ 230. Отраженіе отъ плоскаго зеркала лучей, выходящихъ изъ цѣлаго свѣтящагося тѣла. Если вмѣсто одной точки испускающей лучи свѣта, имѣемъ цѣлое тѣло, то каждая точка его доставляетъ свой пучекъ, по отраженіи направляющійся такъ, какъ еслибы онъ выходилъ изъ нѣкоторой точки находящейся за зер-

каломъ. Совокупность такихъ точекъ составляетъ *изображеніе тѣла*. Мы найдемъ его если изъ всѣхъ доставляющихъ лучи точекъ тѣла опустимъ (фиг. 283) перпендикуляры на плоскость зеркала (представляя ее неопредѣленно простирающеюся) и продолжимъ ихъ за зеркаломъ на равныя разстоянія. Построенное такимъ образомъ изображеніе тѣла есть по отношенію къ нему то что въ геометріи именуется *симметричною* фигурою. Двѣ такія фигуры равновелики, но при наложеніи не совмѣщаются, а правая сторона одной соответствуетъ лѣвой другой и наоборотъ. Такимъ образомъ явленіе происходитъ такъ какъ еслибы вмѣсто зеркала было отверстіе, за которымъ стояло бы тѣло симметричное съ отражаемымъ, помѣщенное на такомъ разстояніи, на какомъ тѣло находится предъ зеркаломъ. Если, напримѣръ, отражаемый предметъ есть солнце, то явленіе представится такъ какъ еслибы зеркало было отверстіемъ, чрезъ которое свѣтило бы тѣло подобное солнцу. Явленіе приводится въ случаю отверстія пропускающаго лучи отъ свѣтящагося тѣла. Если зеркало небольшое, то оно соответствуетъ случаю малаго отверстія и бросаетъ *круглое* изображеніе солнца.

Знаменитый французскій естествоиспытатель прошлаго вѣка, Бюффонъ (въ 1747 г.), помѣстивъ на доскѣ рядъ небольшихъ зеркалъ, устроилъ сложное зеркало съ цѣлью направить солнечные лучи въ большомъ количествѣ въ одно мѣсто и про разстояніи отъ сварада. Снаружъ состоялъ изъ 168 небольшихъ стеклянныхъ зеркалъ (6 дюймовъ длиною на 8 ширины), расположенныхъ такъ что между краями оставались промежутки линіи въ 4. Зеркала держались общемою оправою, которая могла двигаться во всѣ стороны. Каждое зеркало кромѣ того имѣло свою оправу, такъ что могло отдѣльно обращаться



Фиг. 283.

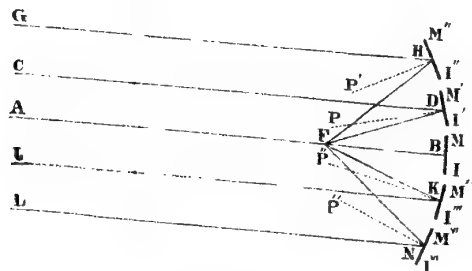
во всѣ стороны. Помощію этого движенія можно было заставить упасть всѣ 168 изображеній (солнца) въ одно мѣсто и зажигать на значительномъ разстояніи. Надо было около получаса чтобы привести отраженные изображенія къ совпадению. На разстояніи 150 футовъ можно было зажечь сосновую смоленую доску. Изображеніе при этомъ разстояніи имѣло 16 дюймовъ въ діаметрѣ.

§ 231. Количество отраженнаго свѣта сравнительно съ количествомъ падающаго. Изъ общаго количества лучей, падающихъ на зеркальную поверхность, только часть отражается; другая входитъ въ тѣло, и если оно не прозрачно, имъ поглощается; наконецъ часть разсѣивается. Чтобы опредѣлить количество правильно отраженнаго свѣта сравнительно съ количествомъ падающаго. Бугеръ *) ставилъ въ случаѣ металлическихъ и вообще твердыхъ зеркалъ, одинъ противъ другаго два небольшихъ бумажные экрана и между ними свѣчу, нѣсколько съ боку помѣщавъ исследуемое зеркало, и наблюдатель видѣлъ въ немъ отраженіе одного изъ экрановъ почти рядомъ съ другимъ, действительнымъ экраномъ, видимымъ прямо глазу. Когда свѣча была на равномъ разстояніи отъ экрановъ, то отраженный казался темнѣе действительнаго и свѣчу надо было поставить дальше отъ этого послѣдняго, чтобы онъ казался одинаковой яркости съ отражаемымъ. Отношеніе квадратовъ разстояній свѣчи отъ того и другаго экрана даетъ отношеніе количествъ падающаго и отраженнаго свѣта. Въ случаѣ жидкостей, Бугеръ пропускалъ въ темную комнату дневной свѣтъ чрезъ два небольшихъ отверстія въ ставнѣ. Одно изъ отверстій, помѣщенное нѣсколько выше, прямо освѣщало поставленный на нѣкоторомъ разстояніи экранъ и давало на немъ свѣтлое пятно; свѣтъ отъ другаго отверстія принимался прежде на поверхность исследуемой жидкости и по отраженіи падалъ на экранъ, производя свое пятно. (Явленіе происходило такъ какъ еслибы изображеніе отверстія было действительнымъ отверстіемъ, находящимся за зеркальною поверхностью и оттуда освѣщающее экранъ). Чтобы оба пятна (которымъ помощью непрозрачнаго картона съ круглыми прорѣзами, приложеннаго къ экрану, можно было дать круглое очертаніе) были одинаковой яркости надо было отверстіе дающее прямо падающій свѣтъ сдѣлать меньше доставляющаго свѣтъ отражаемый. Отношеніе величины этихъ отверстій даетъ отношеніе количествъ падающаго и отраженнаго свѣта, если опытъ расположить такъ, что первое отверстіе и изображеніе втораго находятся на равномъ разстояніи отъ экрана.

*) Французскій ученый, родился въ 1698 году. Получивъ известность трудами по механикѣ и астрономіи, былъ въ 1735 г. избранъ въ члены комиссіи, отправившейся для измѣренія градуса меридіана въ Перу. Многочисленные наблюденія изложилъ въ сочиненіи *О фигурахъ земли*. Онъ и германскій ученый Ламбертъ—основатели фотометріи (ученіе о измѣреніи силы свѣта). Умеръ въ 1758 году.

Бутеръ нашелъ что, при перпендикулярномъ паденіи, изъ 1000 падающихъ лучей вода отражаетъ только 18, стекло 25, ртуть 660 лучей (и около того же количества металлическихъ зерка-ла). При наклонномъ паденіи, отраженіе значительнѣе; такъ вода изъ 1000 лучей, падающихъ очень косвенно, подъ угломъ, напримѣръ въ $1\frac{1}{2}^\circ$ съ ея поверхностію отражаетъ 670 лучей; при углѣ съ поверхностію 20° (когда слѣдовательно уголъ па-денія есть 70°) отражаетъ 145 лучей; при 60° уже только 19. Сравнительное отраженіе ртути и воды удобно наблюдать, на-ливъ въ сосудъ воды поверхъ ртути и сравнивая два отражен-ныхъ изображенія при разныхъ наклонныхъ.

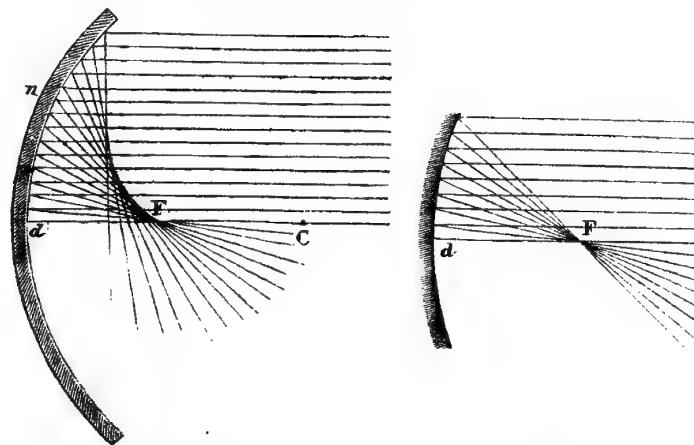
§ 232. Вогнутое или собирающее лучи зеркало
Представимъ себѣ нѣсколько плоскихъ зеркалъ IM , $I'M'$, $I''M''$ и т. д. расположенныхъ какъ на фиг. 284.



Фиг. 284.

Пусть на такую систему падаютъ лучи изъ нѣкото-рой свѣтящейся точки (на чертежѣ эта точка пред-полагается очень далеко, такъ что падающіе лучи можно считать параллельными между собою). Зеркала можно разбить такъ что всѣ отраженные лучи будутъ собираться въ одно мѣсто, напримѣръ къ точ-кѣ F . Не трудно убѣдиться, что въ этомъ случаѣ вся совокупность зеркалъ составитъ какъ бы одну *вогну-тую* поверхность. Заключаемъ, что вообще вогну-тая, напримѣръ *сферическая*, поверхность должна собирать лучи. Дѣйствительно, построивъ по пра-вилу § 228 для cadaго падающаго луча соответ-ствующій отраженный, убѣдимся, что лучи, отраженные

отъ дуги изображающей на фиг. 285 части вогнутой сферической поверхности приблизительно сойдутся въ одной точкѣ, говоримъ приблизительно, ибо, какъ ви-дно на фигурѣ, чѣмъ ближе падающій лучъ къ краю зеркала тѣмъ ближе къ зеркалу точка гдѣ онъ пересѣ-каетъ ось. Разстояніе точки пересѣченія луча съ осью



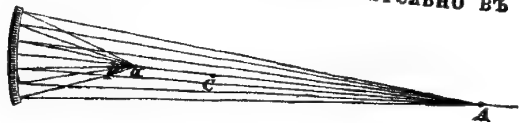
Фиг. 285.

Фиг. 286.

отъ точки F , гдѣ пересѣкаются съ осью лучи падающіе на центральную часть зеркала, называется *абберраціею* луча. Точка F есть предѣлъ, къ которому приближается пересѣченіе луча съ осью по мѣрѣ того какъ лучъ ста-новится ближе и ближе къ идущему по самой оси. Изъ чертежа видимъ что абберрація лучей падающихъ на среднюю часть зеркала имѣетъ весьма малую вели-чину (это ясно видно изъ сравненія фиг. 286 пред-ставляющей центральную часть фигуры 285 съ этою послѣднею). Потому, если отверстіе зеркала не ве-лико, то зеркало это можно считать свободнымъ отъ *сферической абберраціи* и всѣ отраженные лучи пере-сѣкающимися въ одной точкѣ F , которая и называется *фокусомъ* зеркала и именно *главнымъ*, если какъ на

чертежъ, падающіе лучи параллельны оси. Плоскость проведенная чрезъ точку F перпендикулярно къ оси называется *фокальною плоскостью*. Отраженный пучекъ пересекаетъ ее въ одной точкѣ, если, какъ предполагаемъ, зеркало свободно отъ сферической аберраціи. Онъ пересекаетъ ее въ цѣломъ пятнѣ въ противномъ случаѣ. Это мѣсто пересѣченія отражающаго пучка фокальною плоскостію именуется *изображеніемъ* той отдаленной точки, откуда падаютъ на зеркало параллельные лучи *).

Не только лучи параллельные, но и вообще лучи вышедшіе изъ какой-нибудь точки A на оси (фиг. 286) по отраженіи собираются приблизительно въ одной



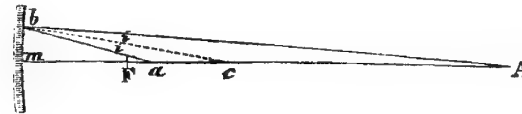
Фиг. 287.

точкѣ a , которая и есть *изображеніе* точки A . Эти точки называются *сопряженными фокусами*. Еслибы свѣтящаяся точка была нѣ a , то лучи выходящіе изъ нея шли бы, въ обратномъ направленіи, по тому пути, каковы въ первомъ случаѣ шли отраженные, а прежніе падающіе изобразили бы путь отраженныхъ, которые собрались бы въ A какъ въ фокусъ.

§ 233. *Опредѣленіе разстоянія фокуса отъ зеркала.* Не трудно найти разстояніе фокуса отъ середины зеркала. Обратимъ вниманіе на какой нибудь одинъ изъ лучей выходящихъ изъ

*) Чертежъ сдѣланъ въ одной плоскости. Чтобы получить понятіе объ общемъ расположеніи лучей въ пространствѣ, мы должны вообразить что весь чертежъ обратился около линіи проходящей чрезъ центръ и середину зеркала какъ около оси. Цилиндрический пучекъ падающихъ лучей обращается въ конусообразный отраженный, который былъ бы строго коническимъ, еслибы лучи собирались строго въ одну точку.

точки A , напримѣръ, лучъ Ab (фиг. 288). Пусть Am разстояніе свѣтящейся точки отъ зеркала $= d$; радіусъ зеркала, котораго центръ въ точкѣ c , пусть $= R$; искомую величину am на-



Фиг. 288.

зовемъ буквою f . Изъ тригольника Abc , въ которомъ уголъ при b , образованный лучами падающимъ и отраженнымъ, раздѣляется радіусомъ cb пополамъ, имѣемъ:

$$Ac:ac = Ab:ab \text{ или } (d - R):(R - f) = Ab:ab.$$

Чѣмъ менѣе уголъ bAm образуемый падающимъ лучомъ съ осью зеркала, тѣмъ ближе, слѣдовательно, лучъ Ab къ центральному лучу Am , тѣмъ менѣе длина Ab разнится отъ длины Am и длина ab отъ длины am , такъ что въ предѣлѣ можно положить $Ab = Am = d$, $ab = am = f$. Слѣдовательно, предыдущая пропорція будетъ:

$$(d - R):(R - f) = d:f, \text{ откуда } f = \frac{dR}{2d - R}$$

Найденное разстояніе f , опредѣляющее положеніе точки a , относится въ строгости къ лучу идущему безконечно близко отъ центральнаго луча Am , но по предыдущему знаемъ что въ этой точкѣ собираются приблизительно всѣ лучи падающіе изъ A на зеркало съ небольшимъ отверстіемъ, то есть свободное отъ сферической аберраціи, каковы мы его и предполагаемъ. Выведенную формулу можно представить въ слѣдующемъ видѣ удобно удерживающемся въ памяти

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

Если d очень велико, то $\frac{1}{d}$ очень малая величина и при $d = \infty$ (когда лучи падаютъ параллельно оси на зеркало) обращающаяся въ нуль. Назвавъ величину f въ этомъ частномъ случаѣ, или *главное фокусное разстояніе*, буквою F , будемъ имѣть:

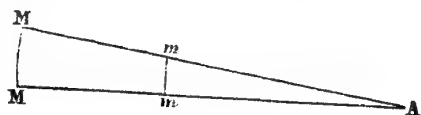
$$\frac{1}{F} = \frac{2}{R} \text{ или } F = \frac{R}{2}$$

Главное фокусное расстояние сферического зеркала равно, следовательно, половине радиуса.

Если заменим R величиною $2F$, то предыдущая формула примет вид $\frac{1}{a} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$

Ту же формулу можно вывести другим приемом, на который укажем так как будем им пользоваться в последствии.

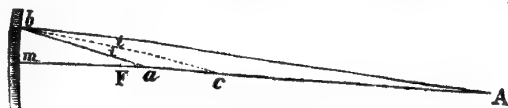
Припомним что углы вообще пропорциональны дугам описанным из их вершин как центров произвольным, но равным радиусами, например, радиусами равными единице, и



Фиг. 289.

что если известна длина дуги MM (фиг. 289) описанной из вершины A радиусом $AM=R$, то соответствующая тому же углу дуга mm описанная радиусом $Am=1$ найдется из отношения $MM: mm = AM: Am = R:1$, откуда $mm = \frac{MM}{R}$. *)

Возвращаясь к нашему чертежу (фиг. 290) станем называть углы bAm , bcm , bat буквами стоящими при их вершинах A , c , a ; углы Abc и cba назовем i и r . Так как угол па-



Фиг. 290.

дения и угол отражения равны между собою, то $i=r$; но $i=c-A$, $r=a-c$; след. $c-A=a-c$ или $A+a=2c$. Дуга bm имеет своим радиусом R ; соответствующая тому же углу c дуга описанная радиусом равным единице будет $\frac{bm}{R}$.

*) Соответствующее этой дуге число градусов x найдется из пропорции $x:360^\circ = \frac{MM}{R}:2\pi$, где 2π длина целой окружности радиус которой единица.

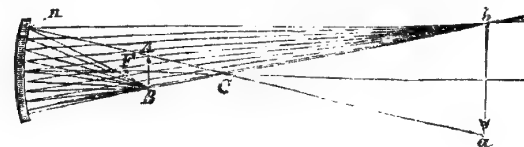
Если угол A мал, то длина дуги mb будет очень мало отличаться от длины дуги, какою была бы описана из A как центра радиусом $Am=d$, и следовательно за дугу единицы радиуса соответствующую углу A можно принять $\frac{bm}{d}$. Подобным образом, дуга единицы радиуса соответствующая углу a будет $\frac{MM}{d}$. Заменяя в предыдущем уравнении углы пропорциональными им величинами дуг, получим

$$\frac{bm}{d} + \frac{bm}{f} = \frac{2bm}{R} \quad \text{или} \quad \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

что и требовалось вывести.

§ 234. Изображение точки лежащей внѣ оси. Изображение цѣлаго предмета. Пусть точка из которой выходят лучи находится внѣ оси, напримеръ въ b (фиг. 291). Тогда, проведя *побочную ось*, то-есть линію отъ свѣтящейся точки чрезъ центръ зеркала C , можемъ относительно этой оси разсуждать точно такъ какъ въ предыдущемъ случаѣ разсуждали относительно главной оси, и показать что лучи по отраженіи сойдутся въ одной точкѣ B , лежащей на побочной оси въ разстояніи отъ зеркала опредѣляемомъ точно также какъ въ случаѣ разобранномъ выше. Точка B есть *изображеніе* точки b .

Наконецъ пусть на нѣкоторомъ разстояніи отъ зеркала, на главной его оси, находится (фиг. 291) цѣлый предметъ ba , изъ каждой точки котораго выходятъ



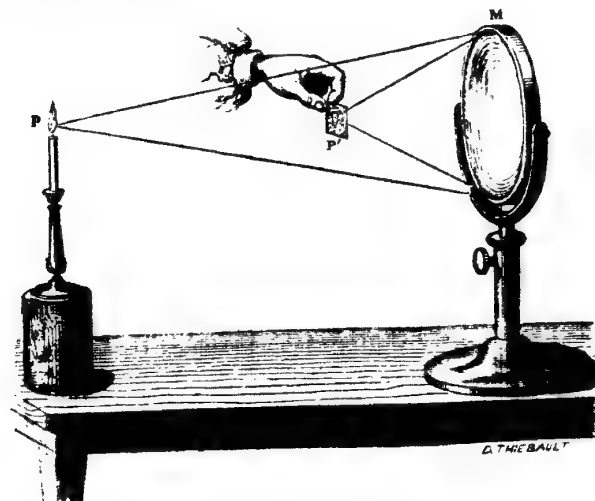
Фиг. 291.

лучи падающіе на зеркало. Тогда для каждой точки предмета найдется свое изображеніе, лежащее на со-

отвѣтствующей этой точкѣ побочной оси: изображеніе точки b въ точкѣ B , точки a въ A и т. д. Такъ какъ побочныя оси пересѣкаются въ центрѣ, то изображенія точекъ лежащихъ выше главной оси будутъ ниже ея и наоборотъ; другими словами изображеніе будетъ *обратное* или *верзъ ногами*. Представимъ себѣ плоскость поставленную перпендикулярно главной оси въ томъ мѣстѣ гдѣ находится изображеніе точки предмета лежащей на главной оси (то-есть при вершинѣ конуса отраженныхъ лучей, образующихъ это изображеніе). Если допустимъ что разстояніе отъ зеркала всѣхъ другихъ точекъ предмета мало разнится отъ разстоянія этой средней точки, то воображаемая нами плоскость пересѣчетъ и всѣ другіе конусы отраженныхъ лучей приблизительно при ихъ вершинахъ A , B и т. д., и слѣдовательно приметъ на себя изображеніе всего предмета ba . Относительно величины этого изображенія, замѣтимъ что уголъ $bCa = BCA$; слѣдовательно изображеніе находится въ углѣ образуемомъ линіями, проведенными отъ вершины и основанія предмета чрезъ центръ зеркала. Другими словами, изъ центра зеркала изображеніе и предметъ представляются подъ одинаковымъ угломъ.

§ 235. Опыты съ проложеніемъ изображеній помощію вогнутаго зеркала. Если вмѣсто воображаемой плоскости въ AB поставимъ дѣйствительный небольшой экранъ (небольшой, чтобы загораживать лишь незначительную часть падающихъ лучей), то конусы отраженныхъ лучей освѣтятъ его каждый въ своей соответствующей точкѣ. Каждое освѣщенное мѣсто, въ свою очередь, разсѣиваетъ лучи во всѣ стороны, и на экранѣ рисуется видимое съ боку и насквозь,—если онъ просвѣчиваетъ,—обратное изображеніе предмета, напри-

мѣръ, свѣчи, какъ представлено на фиг. 292. По мѣрѣ удаленія свѣчи изображеніе ея становится ближе къ зеркалу и меньше. Если предметъ удаленъ на значительное разстояніе (если, напримѣръ, отражаемъ ландшафтъ или солнце), то изображеніе находится въ главномъ фокусѣ, на половинѣ радіуса зеркала. Если, напротивъ, будемъ приближать свѣчу, то экранъ надо удалить отъ зеркала чтобы принять отчетливое изображеніе, увеличивающееся по мѣрѣ приближенія предмета. Если свѣча будетъ



Фиг. 292.

въ самомъ центрѣ зеркала, то обратное изображеніе ея придется въ томъ же мѣстѣ гдѣ она сама находится. Когда свѣча находится между центромъ и фокусомъ, то изображеніе получается дальше центра въ увеличенномъ видѣ. Такъ еслибы свѣча была въ P' , то экранъ надо бы поставить въ P чтобы принять увеличенное изображеніе свѣчи.

§ 236. Теоретическій разборъ частныхъ случаевъ. Согласно сказанному,—если предметъ находится на разстояніи d отъ

зеркала, то место его изображения будет на расстоянии f определяемом из формулы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R}, \text{ откуда } f = \frac{dR}{2d-R}$$

Величина изображения определится углом, образуемым линиями, проведенными от вершины и основания предмета через центр зеркала.

Из чертежа (фиг. 291, стр. 323) видно что $ba : AB = (d-R) : (R-f)$, а так как согласно § 229 $(d-R) : (R-f) = d : f$, то следовательно $ba : AB = d : f$. Линейная величина предмета относится к величине изображения как расстояние предмета к расстоянию изображения от зеркала.

Разберем несколько частных случаев.

1. Если предмет находится на бесконечном или вообще очень далеком расстоянии, то $\frac{1}{d} = 0$, слѣд. $\frac{1}{f} = \frac{2}{R}$ и $f = F = \frac{R}{2}$.

Изображение будет в главном фокусе. Так бывает, например, когда зеркало собирает солнечные лучи: в фокус получается небольшое яркое изображение солнца. Измѣрив расстояние этого изображения от зеркала определяют фокусное расстояние зеркала. Удвоив фокусное расстояние, находим величину радиуса, буде она неизвестна.

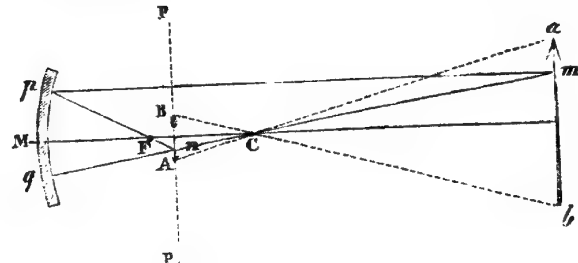
2. Когда d больше R , то-есть предмет находится от зеркала дальше центра, то f меньше R , но больше $\frac{1}{2}R$, и изображение находится между главным фокусом и центром. Изображение меньше предмета так как f меньше d .

3. Если $d = R$ и следовательно предмет в самом центре или на двойном фокусном расстоянии от зеркала, то $f = R$. Изображение, будучи такой же величины (ибо $d=f$) и на том же месте как предмет, совпадает с предметом, но так как оно обратное, то вершина изображения падает на основание предмета, и основание изображения на вершину предмета. На опыте, если поставить свѣчу у центра зеркала, но немного в сторону от оси, то на экранѣ поставленном рядом со свѣчей получим по другую сторону оси обратное изображение свѣчи той же величины как сама свѣча.

4. Если d меньше чѣм R , но больше $\frac{1}{2}R$, то f будет больше чѣм R и изображение получится дальше центра и в увеличенном видѣ, ибо f больше d . Так если на фиг. 291 стр. 323 AB есть предмет, то ba его изображение. Вогнутое зеркало может потому служить для того чтобы малый, ярко освѣщенный предмет, помещенный между центром и фокусом, изобразить в увеличенном видѣ на экранѣ.

5. Если d меньше $\frac{1}{2}R$, тогда f будет имѣть отрицательную величину и тогда передъ зеркалом не получится изображения предмета.

Не прибѣгая къ вычисленію, не трудно на чертежѣ построить по данному предмету его изображение помощью слѣдующаго графическаго приема. Проведемъ одинъ изъ лучей, идущихъ отъ предмета параллельно оси, напримеръ лучъ mb выходящій изъ точки m предмета (фиг. 293). Лучъ этотъ, какъ параллельный оси,



Фиг. 293.

по отраженіи пройдетъ черезъ главный фокусъ F или средину радиуса. Лучъ идущій отъ m черезъ центръ зеркала, будучи перпендикуляренъ къ поверхности зеркала, отразится по тому направлению какъ пришелъ. Пересѣченіе двухъ этихъ отраженныхъ лучей въ точкѣ n определитъ место изображения точки m , то-есть точку гдѣ по отраженіи соберутся всѣ лучи, выходящіе изъ m . Изображенія всѣхъ другихъ точекъ будутъ находиться въ плоскости PP проведенной черезъ n перпендикулярно къ оси. Все изображение предмета ba определится, если отъ его вершины b и основанія a проведемъ линіи черезъ центръ C зеркала до пересѣченія съ плоскостію PP .

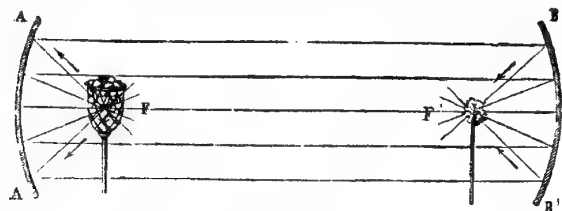
§ 237. Употребленіе вогнутаго зеркала въ качествѣ собирающаго теплоту. Вогнутое зеркало, собирая лучи свѣта, собираетъ также и теплоту. Металлическое вогнутое зеркало выставленное на солнце, давая въ своемъ главномъ фокусѣ яркое маленькое изображение солнца, тутъ же обнаруживаетъ сильное нагревающее дѣйствіе, воспламеняя и расплавляя тѣла. Такія зеркала называются зажигательными. Ихъ дѣйствіе извѣстно съ древности, и сохранилась легенда, будто Архимедъ дѣйствіемъ зеркала сжегъ римскій флотъ, подошедшій къ стѣнамъ Сиракузъ *).

*) Упомянутый въ § 227 опытъ Бюффона былъ имъ сдѣланъ съ цѣлью осуществить сказаніе о зеркалѣ Архимеда помощью сло-

тыхъ зеркалъ послужило главнымъ основаніемъ къ составленію ученія о *лучистой теплотѣ* или о невидимыхъ лучахъ теплоты, распространяющихся по тѣмъ же законамъ какъ и лучи свѣта.

Мариоттъ въ 1682 году сдѣлалъ важное наблюденіе, что не только теплота солнца, но и теплота разведеннаго на очагѣ огня также собирается зеркаломъ и „чувствуется въ его фокусѣ; но если помѣстить между зеркаломъ и фокусомъ кусокъ стекла, то теплота становится неощутительною“.

Германскій ученый, Ламбертъ *), поставивъ два зеркала одно противъ другаго, на разстояніи 20 футовъ, и помѣстивъ въ фокусъ F одного изъ нихъ (фиг. 294) раскаленные угли, зажигалъ въ фокусъ F' другаго трутъ и



Фиг. 294.

вообще воспламеняющіяся тѣла. Ламбертъ пришелъ къ заключенію, что нагреваніе происходитъ не столько отъ свѣта или *свѣтлой теплоты* угля, сколько отъ его *темной* теплоты, не возбуждающей ощущенія свѣта.

жнаго зеркала, такъ какъ сферическое зеркало собирающее лучи на половинѣ своего радіуса не можетъ сосредоточить теплоту на дальнемъ разстояніи.

*) Родился въ 1728 году, сынъ портнаго; въ качествѣ домашняго учителя два года путешествовалъ съ своими воспитанниками по Европѣ. Авторъ замѣчательныхъ сочиненій *Фотометрія* и *Пируметрія* и нѣсколькихъ славившихся въ свое время философскихъ трактатовъ. Умеръ 1777 года въ Берлинѣ, будучи членомъ тамошней Академіи Наукъ.

Собирая въ фокусъ большаго зажигательнаго стекла свѣтъ сильнаго огня разведеннаго въ каминѣ, онъ замѣтилъ что нагревающее дѣйствіе въ этомъ случаѣ бываетъ весьма слабо и едва чувствительно для руки: стекло, пропускающее свѣтъ, задерживаетъ темную теплоту. По этой же причинѣ вогнутое стеклянное зеркало, сильно отражая свѣтъ своею амальгамированною поверхностію, мало собираетъ теплоты, поглощаемой его толщею. Шведскій ученый Шееле (Scheele)*) ввелъ употребленіе термина *лучистая теплота*, для обозначенія непосредственнаго нагревающего дѣйствія тѣла чрезъ пустоту и воздухъ, и показалъ что воздухъ самъ по себѣ холодный или находящійся въ движеніи не препятствуетъ непосредственному дѣйствію нагрѣтаго тѣла или распространенію лучей теплоты.

Вопросъ о распространеніи и отраженіи невидимыхъ лучей теплоты въ особенности привлечъ вниманіе ученыхъ послѣ опытовъ Соссюра и Пикте **) и сочиненія послѣдняго *Объ огнѣ*. Зеркала, какими пользовались эти ученые, были изъ олова, футъ въ діаметрѣ, и имѣли фокусъ на 4½ дюймахъ. „Мы взяли, говоритъ Соссюръ, желѣзное ядро, двухъ дюймовъ въ діаметрѣ, сильно раскалили его, такъ чтобъ оно прогрѣлось до центра; затѣмъ дали ему охладиться до той степени что оно перестало свѣтиться даже и въ темнотѣ. Два зеркала были поставлены одно противъ другаго на разстояніи 12 футовъ; въ фокусъ одного помѣстили ядро, въ фокусъ другаго термометръ... Тотчасъ какъ ядро было поставлено въ фокусъ, термометръ сталъ повышаться, и въ шесть ми-

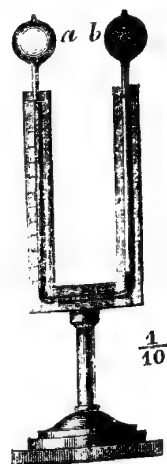
*) Въ его сочиненіи *Химическія изысканія о воздухѣ и огнѣ*, 1777 года.

**) Пикте (Pictet) — женеvскій ученый, родившійся въ 1752 г., умершій въ 1825. Профессоръ философіи и потомъ президентъ Женевской Академіи. Одинъ изъ основателей замѣчательнаго изданія *Bibliothèque Britannique* (переименованнаго съ 1816 года въ *Bibliothèque Universelle*).

нута поднялся на $10\frac{1}{2}$ градусов; тогда какъ другой термометръ, поставленный на такомъ же разстояніи отъ ядра и отъ наблюдателя, показалъ повышение лишь на $2\frac{1}{2}$ градуса... Чтобы устранить всякое подозрѣніе относительно свѣта, Пикте произвелъ опытъ, вмѣсто ядра, съ сосудомъ наполненнымъ кипящею водою, и температура одного фокуса повысилась болѣе чѣмъ на градусъ“.

Описанные опыты, очевидно, доказываютъ, что отъ нагрѣтаго тѣла распространяются невидимые лучи теплоты, подчиняющіеся тѣмъ же законамъ распространения и отраженія какъ лучи свѣта.

§ 238. **Снаряды для изученія лучистой теплоты.** Обыкновенный термометръ не довольно чувствителенъ для обнаруженія дѣйствія лучей теплоты. Если для этой цѣли употреблялъ особый, изобрѣтенный имъ *дифференціальный термометръ*. „Это есть, говоритъ онъ, не иное что какъ измѣненный, впрочемъ въ существенныхъ пунктахъ, воздушный термометръ. Онъ состоитъ изъ согнутой (фиг. 295) въ формѣ буквы U трубки оканчивающейся на обоихъ концахъ шариками, наполненными воздухомъ. Въ трубкѣ находится сѣрная кислота подкрашенная карминомъ. Если оба шарика имѣютъ одинаковую температуру, то жидкая масса остается въ покоѣ; но если одинъ шарикъ нагрѣется болѣе другаго, то вслѣдствіе увеличившейся упругости воздуха, жидкость съ его стороны понизится. Я выбралъ такую трудно испаряющуюся жидкость какъ сѣрная кислота, дабы при переменахъ температуры воздухъ оставался сухимъ“, и присутствіе пара жидкости не осложняло бы явленія *). Почти



Фиг. 295.

*) Если изобрѣлъ дифференціальный термометръ, изучая сравнительныя показанія сухаго термометра и другаго погруженнаго въ испаряющуюся влагу, и нападъ на мысль, что снарядъ описаннаго устройства всего удобнѣе для этой цѣли. Онъ покрывалъ одинъ изъ шариковъ кисеей, которую смачивалъ водою, и наблюдалъ соответствующее измѣненіе высотъ сѣрной кислоты въ колѣнахъ трубки. Тѣмъ же снарядомъ онъ думалъ

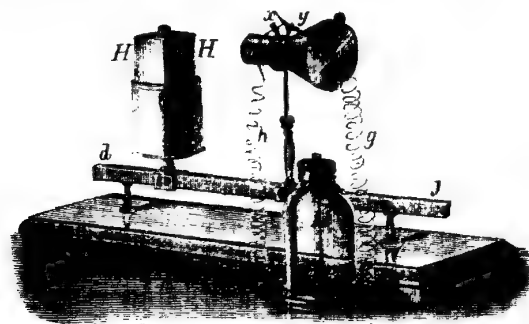
такого же устройства инструментъ употреблялъ въ своихъ изслѣдованіяхъ Румфордъ, изобрѣтшій свой снарядъ независимо отъ Лесли. Для того чтобы всѣ лучи, падающіе на шарикъ термометра, оказывали свое дѣйствіе, и какъ отражаемая такъ и проходящая часть были по возможности ничтожны, шарикъ долженъ быть покрытъ слоемъ вещества особенно сильно поглощающаго лучи, обыкновенно сажью, которая, какъ показалъ опытъ, есть тѣло по преимуществу обладающее поглощательною способностію. Если, напротивъ, желаютъ чтобы шарикъ оставался въ равновѣсіи температуры съ окружающимъ его воздухомъ и былъ защищенъ отъ лучистаго дѣйствія окружающихъ тѣлъ, то облачаютъ его мѣднымъ отполированнымъ цилиндромъ сильно отражающимъ лучи.

Какъ источникъ теплоты. Если обыкновенно употреблялъ кубъ носящій его имя, (фиг. 296), то-есть четырехугольный ящикъ, наполненный кипящею водою. Если облачалъ его стѣнки слоями разныхъ веществъ чтобы изучать испусканіе лучей разными поверхностями.



Фиг. 296.

Въ новѣйшее время для изученія лучистой теплоты пользуются главнымъ образомъ снарядомъ итальянскаго ученаго Меллони (труды его относятся къ тридцатымъ годамъ нынѣшняго столѣтія). Снарядъ основывается на возбужденіи, нагрѣвающимъ дѣйствіемъ лучей, электрическаго тока въ термоэлектрическомъ столбикѣ, состоящемъ изъ спаянныхъ концами палочекъ висмута и сурьмы. Лучи, идущіе отъ источника, напримѣръ отъ куба *НН* (фиг. 297), нагрѣвая обращенные къ



Фиг. 297.

воспользоваться въ качествѣ фотометра, и для этого одинъ изъ шариковъ оставался прозрачнымъ, другой же покрывалъ

нему снан столбика, возбуждаютъ токъ, о присутствіи и силѣ котораго наблюдатель узнаетъ по отклоненію стрѣлки гальванометра *M*.

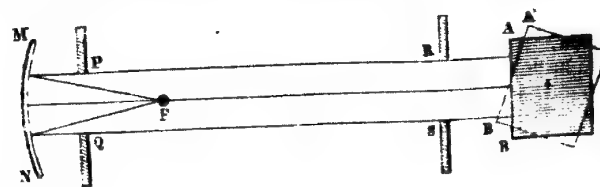
§ 239. Лученепусканіе чрезъ поверхности различныхъ физическихъ свойствъ. При той же температурѣ тѣло испускаетъ весьма различныя количества теплоты, смотря по свойствамъ слоя ограничивающаго его при поверхности. Если пользовался двумя приемами для сравнительнаго опредѣленія силы *лученепусканія* чрезъ поверхность въ различныхъ случаяхъ. Впервыхъ, онъ наблюдалъ съ какою скоростью охлаждается тѣло, если оно ограничено слоями различныхъ свойствъ. „Если взять, говоритъ онъ, два одинаковыхъ шарика изъ тонкаго гладкаго серебра, одинъ не покрытый, а другой облеченный тонкимъ батистомъ (или оклеенный тонкою бумагой), наполнить оба горячею водою и повѣсить въ закрытомъ мѣстѣ, то первый потеряетъ 11 частей своей теплоты, въ то время какъ второй потеряетъ ихъ двадцать“. Такимъ образомъ тѣло ограниченное металлическимъ слоемъ теряетъ почти вдвое меньше теплоты чѣмъ покрытое бумагой, а это свидѣтельствуетъ что чрезъ металлическую поверхность, при тѣхъ же условіяхъ, выходитъ значительно меньше теплоты чѣмъ чрезъ бумажную. „Слабое лученепусканіе металлической поверхности сравнительно съ стеклянною или бумажною, прибавляетъ Если, можно замѣтить даже при самыхъ простыхъ опытахъ. Если наполнить стеклянный или фаянсовый сосудъ кипящею водою, то приближенная рука, на разстояніи 1 или 2 дюймовъ отъ нагрѣтой поверхности, ощущаетъ пріятную теплоту; тогда какъ въ случаѣ се-

черною тушью (или выдувать изъ черной эмали). Онъ полагалъ, что „лучи падающіе на прозрачный шарикъ, проходятъ чрезъ него не встрѣчая препятствій; падающіе же на черный поглощаются и дѣйствуютъ какъ теплота“. Допущеніе неточное какъ разъяснится ниже.

ребрианаго сосуда, также наполненнаго горячею водою, едва можно ощутить нѣкоторую теплоту, если приблизить руку почти до прикосновенія къ металлу“. Вовторыхъ, Если ставилъ предъ вогнутымъ металлическимъ зеркаломъ свой кубъ; въ фокусъ же помѣщалъ покрытый копотью шарикъ термометра. Дѣйствіе оказалось наибольшимъ когда кубъ былъ обращенъ къ зеркалу своею зачерненной стороною, наименьшимъ когда лучи выходили изъ металлической поверхности.

Если замѣтить что исчерченная металлическая поверхность испускаетъ болѣе лучей чѣмъ полированная, и заключить, что вообще лученепусканіе неровной поверхности значительнѣе чѣмъ гладкой—заключеніе, какъ показалъ Меллонъ, не совсѣмъ точное, ибо есть случаи когда матовая металлическая поверхность испускаетъ болѣе лучей чѣмъ полированная. О томъ что между степенью гладкости и лученепусканіемъ нѣтъ необходимой связи свидѣтельствуетъ, по мнѣнію Меллоны, уже то обстоятельство, что полированная стеклянная поверхность испускаетъ гораздо болѣе лучей чѣмъ исчерченная металлическая.

Если принадлежитъ еще слѣдующій замѣчательный опытъ, доказывающій что всякій элементъ поверхности оказываетъ въ перпендикулярномъ къ нему направленіи болѣе сильное нагрѣвающее дѣйствіе чѣмъ въ направленіи наклонномъ, или, другими словами, въ перпендикулярномъ направленіи испускаетъ болѣе лучей, чѣмъ въ наклонномъ. Помѣстивъ предъ кубомъ (фиг. 298) экранъ съ отверстіемъ *RS* меньшимъ чѣмъ



Фиг. 298.

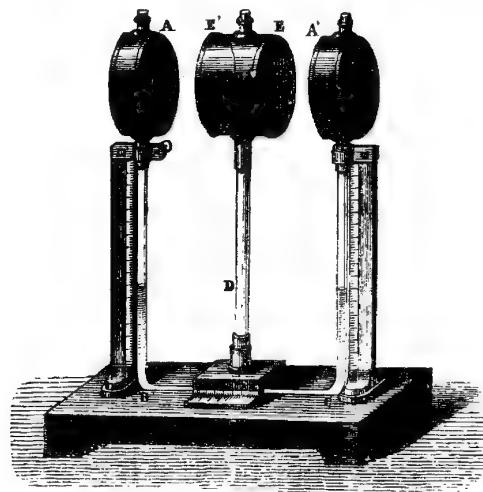
сторона куба *AB*. Если убѣдился что дѣйствіе куба на шарикъ термометра *F*, помѣщеннаго, для усиленія дѣйствія, въ фокусъ вогнутаго зеркала *MN*, остается одинаковымъ стоять ли кубъ параллельно отверстію и слѣдовательно дѣйствуетъ лучами перпендикулярно выходящими или поставленъ наклон-

но. Хотя въ послѣднемъ случаѣ болѣе значительная часть поверхности куба доставляетъ лучи шару F , но ихъ дѣйствіе слабѣе, такъ какъ они вышли наклонно изъ нагревающей поверхности. Если назовемъ α уголъ образуемый направлениемъ испускаемыхъ лучей съ перпендикуляромъ къ испускающей плоскости ($\alpha=0$ если лучъ выходитъ перпендикулярно), то не трудно убѣдиться что изъ описаннаго опыта слѣдуетъ, что нагревающее дѣйствіе данной плоскости пропорціонально косинусу этого угла. Тотъ же законъ прилагается и къ случаю лучей свѣта. Имъ объясняется почему солнце или раскаленный шаръ кажутся какъ плоскіе свѣтящіеся круги.

§ 240. Лучепоглощеніе чрезъ поверхности различныхъ физическихъ свойствъ. Чѣмъ значительнѣе лучеиспускание данной поверхности, тѣмъ вообще значительнѣе и поглощеніе лучей, какое она обнаруживаетъ когда на нее падаютъ лучи теплоты отъ посторонняго источника. Чтобы сравнивать поглощеніе теплоты различными поверхностями, Лесли помѣщалъ въ фокусъ зеркала шарикъ своего термометра, покрывая его тонкими слоями разныхъ свойствъ: слоемъ сажи, тонкою бумагой, металлическимъ листомъ и т. д. Онъ убѣдился, что лучепоглощеніе пропорціонально лучеиспусканію.

Англійскій физикъ Ритчи (Ritchie) подтвердилъ это заключеніе (1827 г.) слѣдующимъ опытомъ. „Инструментъ (фиг. 299) представлялъ собою большой дифференціальный термометръ съ цилиндрическими камерами изъ тончайшей жести... Боковая поверхность одной изъ камеръ покрыта сажей, тогда какъ противоположная ей поверхность A' другой камеры оставлена блестящею.. Цилиндръ изъ жести $E'E$ такого же діаметра какъ камеры помѣщается точно въ срединѣ между ними. Одна его сторона покрыта сажей, другая оставлена блестящею. Если наполнить его горячею водою, то замѣчаются слѣдующія явленія: 1) Если покрытая сажею сторона цилиндра EE' обращена къ покрытой же сажею сторонѣ A , то спиртъ въ каналѣ камеры A очень быстро опускается, ибо отъ покрытой сажею стороны средняго цилиндра много лучей поглощается поверхностью A ... 2) Если, снявъ цилиндръ, вновь помѣстимъ его въ срединѣ, но такъ чтобы его покрытая сажею сторона была обращена къ блестящей сторонѣ камеры A' , а его блестящая сторона къ покрытой сажею сторонѣ камеры A , и налить горячею водою, то спиртъ въ термометрѣ останется совершенно въ покое. Причина этого явленія ясна. Покрытая сажею сторона цилиндра EE' испускаетъ теплоту въ обиліи; допустимъ,

напримѣръ, въ десять разъ болѣе чѣмъ полированная. Эта теплота падаетъ на поверхность съ слабою поглощаемостію,



Фиг. 299.

которая согласно нашему допущенію можетъ поглотить лишь десятую долю падающей теплоты. Другая сторона цилиндра испускаетъ малое количество теплоты, — единицу согласно нашему допущенію, — но оно все поглощается камерой A и передается заключающемуся въ ней воздуху. Такъ какъ дѣйствіе на обѣ камеры одинаково, то заключаемъ что способность лучеиспусканія равна способности лучепоглощенія.

Чѣмъ болѣе данная поверхность поглощаетъ падающихъ лучей, тѣмъ меньшее, слѣдовательно, количество ихъ отражается (отчасти правильно, отчасти чрезъ разсѣяніе). Уже Шеле сдѣлалъ любопытное наблюденіе, показывающее соотношеніе между отраженіемъ и поглощеніемъ теплоты. Если держать предъ очагомъ металлическое полированное зеркало, то оно, въ обиліи отражая лучи, само мало нагревается, какъ можно замѣтить прикасаясь къ его задней поверхности рукою. Но если покрыть его отражающую поверхность сажею, то отраженіе почти

прекратится, за то поглощение сдѣлается весьма значительнымъ. Черезъ четыре минуты, замѣчаетъ Шеле, уже едва можно было держать его въ рукѣ.

§ 241. Кажущееся отраженіе холода. Съ давнихъ поръ извѣстно, что вогнутое зеркало собираетъ не только свѣтъ и теплоту, но и холодъ. Порта говоритъ: „Удивленія достойно что, подобно теплотѣ, и холодъ отражается: если на мѣсто (отражаемаго предмета) помѣстить снѣгъ, то глазъ принимая отраженіе ощущаетъ даже холодъ, ибо очень чувствителенъ“ *). Подобные опыты дѣлали флорентинскіе академики, обнаруживая холодъ въ фокусѣ зеркала помощію термометра. Опытъ легко произвести помощію двухъ зеркалъ, помѣщая въ фокусѣ одного холодный сосудъ, а въ фокусѣ другаго шарикъ дифференціального термометра. Размышленіе объ этомъ явленіи привело женевскаго физика конца прошлаго столѣтія Прево (Prevost) къ теоріи *подвижнаго равновѣсія температуры*, нынѣ общепринятой и весьма просто объясняющей кажущееся отраженіе холода. Согласно этой теоріи, обменъ теплоты между тѣлами происходитъ не только въ томъ случаѣ когда данное тѣло окружено другими разной съ нимъ температуры, но и въ томъ случаѣ когда окружающія тѣла имѣютъ одинаковую съ нимъ температуру; и если тѣло сохраняетъ постоянную температуру, то это значитъ только что количество теплоты получаемое имъ равно тому какое оно отдаетъ въ то же время. Тѣло охлаждается когда оно получаетъ менѣе теплоты чѣмъ сколько испускаетъ; оно нагревается въ противномъ случаѣ. Если въ фокусѣ одного изъ сопряженныхъ зеркалъ находится

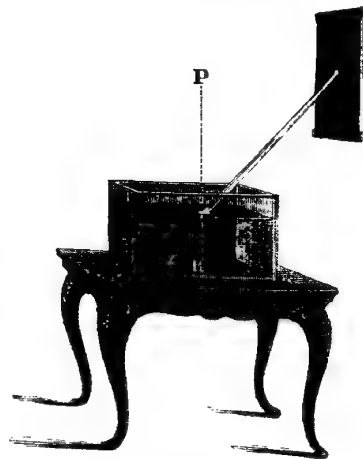
*) „Но еще удивительнѣе, прибавляетъ Порта, что зеркало собираетъ не только тепло и холодъ, но и голосъ исполняя роль эхо, ибо голосъ отъ полированной вогнутой поверхности, прямой и полнѣе отражается чѣмъ отъ какой-либо стѣны“.

термометръ, то онъ испускаетъ изъ себя лучи теплоты; часть этихъ лучей послѣ двукратнаго отраженія собирается въ фокусѣ втораго зеркала. Если въ этомъ фокусѣ нѣтъ никакого тѣла, то пересѣкшіеся лучи продолжаютъ далѣе свой путь до встрѣчи съ окружающими тѣлами, которые всѣ предполагаемъ той же температуры какъ и термометръ. Наоборотъ, по тѣмъ же путямъ, но въ противоположномъ направленіи, идетъ теплота отъ окружающихъ тѣлъ ко второму зеркалу, отъ него къ первому и, по отраженіи, къ термометру. И такъ какъ каждому вышедшему лучу соответствуетъ возвращающійся той же силы, то температура термометра остается безъ переменъ. Но если въ фокусѣ втораго зеркала находится кусокъ льда или вообще холодное тѣло, то тѣло это загородитъ путь лучамъ окружающихъ предметовъ и обратно приходящіе лучи будутъ тѣ которые идутъ отъ него самого; они принесутъ къ термометру менѣе теплоты чѣмъ сколько уносится вышедшими изъ него лучами. Термометръ обнаружитъ пониженіе температуры.

Указанное Лесли правило, что тѣла сильно отражающія теплоту мало поглощаютъ ея и наоборотъ, есть короллярій теоріи подвижнаго равновѣсія. Въ самомъ дѣлѣ, пусть термометръ покрытый тонкою металлическою оболочкой (сильно отражающею) находится внутри оболочки покрытой сажею и имѣющей одинаковую съ нимъ температуру. Допустимъ что металлическая оболочка отражаетъ, напримѣръ, 80 лучей изъ ста падающихъ. Следовательно 20 поглощаются, но такъ какъ температура термометра, какъ свидѣтельствуетъ опытъ, не повышается, то онъ столько же долженъ испускать теплоты: поглощеніе и испусканіе равны между собою. Еслибы термометръ былъ покрытъ сажею, то отраженіе было бы крайне слабо; онъ поглощалъ бы почти всѣ сто лучей. Столько же следовательно испускалъ бы. Видимъ что хорошій рефлкторъ есть слабый лучеиспускатель и наоборотъ. Прибавимъ, что объясняя отраженіе холода, мы не обращали вниманія на лучеиспусканіе самаго вещества зеркала, какъ бы предполагая его совершеннымъ рефлкторомъ.

Преломление лучей света.

§ 242. Преломление лучей света при переходѣ изъ воздуха въ прозрачныя твердыя или жидкія тѣла. Пропустивъ тонкій пучокъ солнечныхъ лучей чрезъ отверстіе въ ставнѣ (фиг. 300), поставимъ сосудъ наполненный водою или иною прозрачною жидкостью такъ что бы пучокъ косвенно идущій упалъ на ея горизонтальную поверхность. Войдя въ жидкость, онъ *преломится*, такъ что путь его отъ отверстія въ ставнѣ до дна сосуда обозначится ломаною линіей. Путь этотъ, благодаря разсвѣтлѣ, можно видимо прослѣдить въ воздухѣ и въ жидкости. Относя раз-

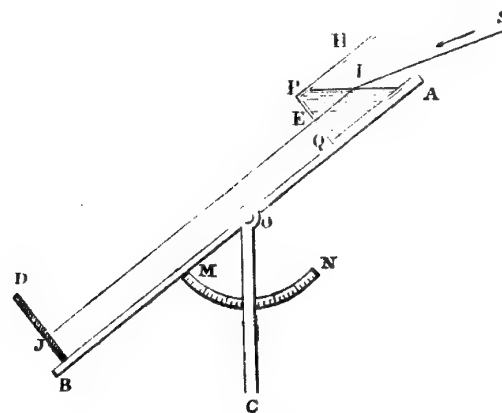


Фиг. 300.

сужденія къ центральному лучу пучка, можемъ весь пучокъ разсматривать какъ одинъ лучъ. Уголъ, который падающій лучъ дѣлаетъ съ перпендикуляромъ PR въ точкѣ паденія называется *угломъ паденія* и плоскость въ которой этотъ уголъ заключается — *плоскостью паденія*; уголъ преломленнаго луча съ продолженіемъ того же перпендикуляра PR именуется *угломъ преломленія*. Уголъ преломленія въ разсматриваемомъ случаѣ менѣе угла паденія: лучъ *приближается* къ перпендикуляру. Если лучъ вступаетъ въ прозрачное тѣло перпендикулярно къ его поверхности (когда слѣдовательно уголъ паденія равенъ нулю), то онъ *не преломляется*. Въ этомъ можно убѣдиться, поставивъ въ описанномъ опытѣ на пути пучка и перпендику-

лярно къ его оси кусокъ стекла ограниченный двумя параллельными полированными плоскостями, или отразивъ помощію зеркала пучокъ такъ чтобы онъ упалъ отвѣсно на поверхность жидкости: пучокъ пройдетъ безъ отклоненія.

Описанный опытъ съ сосудомъ можно сдѣлать измѣрительнымъ, если, какъ поступалъ Ньютонъ, укрѣпить сосудъ (фиг. 301) на доскѣ и дать ей такое положеніе и наклонъ, чтобы

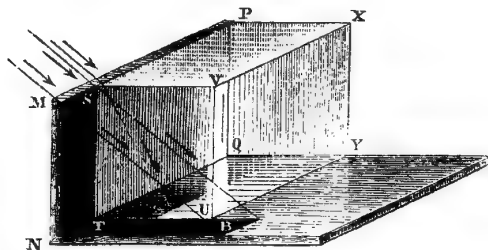


Фиг. 301.

преломленный лучъ упалъ перпендикулярно на средину дна, сдѣланную изъ стеклянной пластинки однообразной толщины (въ такомъ случаѣ средина свѣтлаго пятна на экранѣ D должна быть въ точкѣ J соответствующей центру дна). Уголъ $MOС$ по параллельности сторонъ равенъ углу преломленія. Уголъ паденія найдется, если опорожнивъ сосудъ и наклоняя доску увеличимъ уголъ $MOС$ до той величины когда дно PQ станетъ перпендикулярно къ направленію падающаго луча SI и свѣтлое пятно вновь будетъ въ J .

Еще прежде Кеплеръ изучалъ преломленіе въ стеклѣ помѣщая прямоугольный стеклянный параллелепипедъ (фиг. 302) въ углѣ деревяннаго станка, такъ чтобы линія MP , гдѣ отъ M до P прилегаютъ ребро стекла, была перпендикулярна солнечнымъ лучамъ при всякомъ наклонѣ плоскости MX къ тѣмъ же лучамъ... Лучи между M и S , не встрѣчая на пути иного прозрачнаго тѣла кромѣ воздуха, пройдутъ чрезъ край MS въ прямомъ направленіи, такъ что MS броситъ тѣнь въ B ... Тѣ

же лучи которые падают между S и P , вступя въ прозрачную поверхность MX , преломятся, приближаясь къ перпендикуляру ST , и ребро SP чрезъ стекло бросить тѣнь до Z болѣе короткую...”



Фиг. 302.

§ 243. Законы преломленія въ указанныхъ случаяхъ.

Первый законъ: уголъ паденія и уголъ преломленія находятся въ одной плоскости. Другими словами, преломленный лучъ не выходитъ изъ плоскости паденія.

Потому при граическомъ изображеніи удобно представлять явленіе въ плоскости паденія, то-есть принимать плоскость чертежа за плоскость проведенную чрезъ падающій лучъ и перпендикуляръ паденія: лучъ преломленный изобразится въ той же плоскости.

Второй законъ).* Въ случаяхъ, когда уголъ паденія имѣетъ незначительную величину, можно принять что уголъ преломленія составляетъ опредѣленную его часть, различную для разныхъ преломляющихъ тѣлъ, $\frac{2}{3}$ въ случаѣ стекла, $\frac{3}{4}$ въ случаѣ воды и т. д..

Во всѣхъ же случаяхъ вообще: *синусъ угла паденія къ синусу угла преломленія находится въ постоянномъ отношеніи, именуемомъ „показателемъ преломленія“.*

Для поясненія этого закона обратимся къ слѣдующей таблицѣ, гдѣ для угловъ паденія отъ 0° до 80° означены, въ круглыхъ числахъ, величины соответствующихъ угловъ преломленія въ случаѣ воды и п

*) Объ открытіи этого закона Снелліемъ и Декартомъ будемъ говорить ниже.

стекла. Таблица эта можетъ дать понятіе о томъ, какъ съ увеличеніемъ угла паденія увеличивается соответственно и уголъ преломленія.

Вода.		Стекло.	
Уголъ паденія.	Уголъ преломл.	Уголъ паденія.	Уголъ преломл.
4°	3°	6°	4°
8°	6°	12°	8°
		18°	12°
20°	15°	30°	19°
60°	$40^\circ \frac{2}{3}$	60°	35°
80°	$47^\circ \frac{1}{2}$	80°	41°

Видимъ, что градусовъ до 20 уголъ преломленія пропорціоналенъ углу паденія и составляетъ въ случаѣ воды $\frac{3}{4}$, въ случаѣ стекла $\frac{2}{3}$ угла паденія. Такимъ образомъ назвавъ уголъ паденія буквою i , уголъ преломленія буквою r , отношеніе ихъ или *показатель преломленія* буквою n , можемъ, при небольшихъ углахъ паденія, принять

$$\frac{i}{r} = n \text{ или } i = nr$$

Но при болѣе значительныхъ углахъ эта пропорціональность не сохраняется болѣе, и напимѣрь, въ случаѣ воды, при углѣ паденія 80° , уголъ преломленія не есть $\frac{3}{4}$ отъ 80 , то-есть 60° , а только $47^\circ \frac{1}{2}$; въ случаѣ стекла при углѣ паденія 60° , уголъ преломленія 35° вмѣсто 40° какимъ онъ былъ бы еслибы равнялся $\frac{2}{3}$ угла паденія. Но если вмѣсто того чтобы сравнивать самыя углы, станемъ сравнивать ихъ *синусы*, то можемъ убѣдиться что синусъ угла преломленія всегда составляетъ опредѣленную часть синуса угла паденія; $\frac{3}{4}$ въ случаѣ воды, $\frac{2}{3}$ въ случаѣ стекла и т. д. Дѣйствительно, синусъ 80° есть 0.9848 ; взявъ $\frac{3}{4}$ отъ этого числа получимъ 0.7386 , а это и есть весьма близко $\sin 47^\circ \frac{1}{2}$; подобнымъ образомъ $\frac{2}{3} \sin 60^\circ = 0.6565$, то-есть величина весьма близкая къ $\sin 41^\circ$.

Такимъ образомъ, какъ сказано выше, вообще *синусъ угла паденія къ синусу угла преломленія находится въ постоянномъ отношеніи*. Законъ выражается формулою

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \text{ или } \sin i = n \cdot \sin r$$

гдѣ n *показатель преломленія*. Въ случаѣ луча переходящаго изъ воздуха въ воду $n = \frac{4}{3}$, изъ воздуха въ стекло $n = \frac{3}{2}$.

изъ нижней среды переходя въ верхнюю, приметъ путь *Et* и удалится отъ перпендикуляра. Углы *nEP'* и *mEP* сохраняя величину измѣняютъ значеніе, и первый будетъ угломъ паденія, второй угломъ преломленія.

Второй законъ выразится такъ:

$$\frac{\sin \text{угла преломленія}}{\sin \text{угла паденія}} = n \text{ гдѣ } n \text{ показатель преломленія}$$

при переходѣ изъ воздуха въ среду. Если же желаемъ законъ выразить въ той же формѣ какъ въ случаѣ перехода изъ воздуха въ среду, то должны написать:

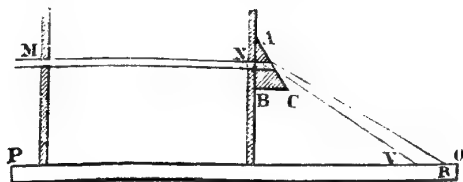
$$\frac{\sin \text{угла пад.}}{\sin \text{угла прел.}} = \frac{1}{n} \text{ или приближенно, при малости}$$

угловъ: $\frac{\text{уголъ пад.}}{\text{уголъ прел.}} = \frac{1}{n}$

Величина $\frac{1}{n}$ есть показатель преломленія при переходѣ изъ среды въ воздухъ. Такимъ образомъ, такъ какъ показатель при переходѣ изъ воздуха въ стекло есть $\frac{3}{2}$; то показатель при переходѣ изъ стекла въ воздухъ есть $\frac{2}{3}$ и т. д.

Принимая упомянутое оптическое правило, Декартъ самое опредѣленіе показателя преломленія стекла и утвержденіе закона преломленія основалъ на наблюденіи *выходящаго* луча. Сравненіе такихъ опытовъ съ тѣми гдѣ наблюдается переходъ луча изъ воздуха въ среду подтверждаетъ справедливость допущеннаго правила.

Декартъ (фиг. 304) пропускалъ лучъ „чрезъ два маленькія от-



Фиг. 304.

верстія, расположенныя одно противъ другаго такъ чтобы проходящій чрезъ нихъ лучъ былъ параллеленъ основанію *PR*. За вторымъ отверстіемъ прилагался кусокъ стекла, обточенный въ фор-

му треугольника... Солнечный лучъ, пропущенный чрезъ отверстія, вступалъ въ стекло безъ всякаго преломленія, ибо встрѣчалъ его поверхность по перпендикулярному направленію. Но дойдя до стороны стекла *AC*, которую встрѣчалъ наклонно, преломлялся и выходилъ изъ нея отклонившись“.

Таблица показателей преломленія нѣкоторыхъ тѣлъ.

Алмазъ	2.44
Анисовое масло . . .	1.81
Оливковое масло . .	1.47
Сѣрнистый углеродъ	1.63
Спиртъ	1.37
Стекло кронъ	1.50
„ флинтъ	1.64
Вода	1.336

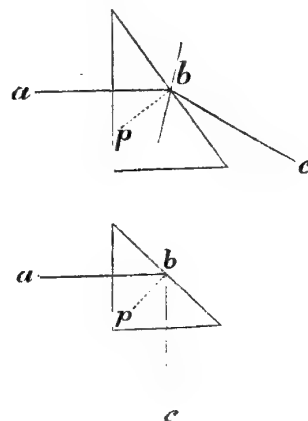
§ 245. Уголь-предѣлъ. Полное внутреннее отраженіе. Изъ таблицы § 243, видимъ что при переходѣ изъ воздуха въ воду лучъ, дѣлающій уголъ паденія 80° по преломленію, приближается къ перпендикуляру, такъ что дѣлаетъ съ нимъ уголъ меньшій чѣмъ $\frac{3}{4}$ угла паденія, а именно $47\frac{1}{2}^\circ$. Еслибы уголъ паденія былъ еще больше, напримѣръ почти 90° , то и уголъ преломленія увеличился бы, но во всякомъ случаѣ былъ бы меньше трехъ четвертей угла паденія (то-есть менѣе $67\frac{1}{2}^\circ$). Второй законъ, въ его точномъ выраженіи, указываетъ что этотъ уголъ не болѣе $48^\circ 27'$. Это есть *уголь-предѣлъ* для воды. Для стекла уголь-предѣлъ еще менѣе, именно $41\frac{1}{2}^\circ$.

Дѣйствительно изъ формулы $\frac{\sin i}{\sin r} = n$, положивъ $i = 90^\circ$ получимъ, назвавъ величину угла r въ такомъ случаѣ, то-есть *уголь-предѣлъ*, буквою ρ :

$$\frac{1}{\sin \rho} = n, \text{ или } \sin \rho = \frac{1}{n}$$

но уголь синусъ котораго есть $\frac{1}{n}$, можно найти въ таблицѣ синусовъ. Онъ есть $48^\circ 27'$. Въ случаѣ стекла, котораго показатель преломленія $\frac{3}{2}$, имѣемъ $\sin \rho = \frac{2}{3}$, и слѣдовательно $\rho = 41\frac{1}{2}^\circ$.

Представимъ себѣ что лучъ, наоборотъ, изъ стекла переходитъ въ воздухъ. Если внутри стекла онъ дѣлаетъ съ перпендикуляромъ паденія уголъ 41° , то выйдетъ въ воздухъ подъ угломъ 80° ; если падаетъ подъ угломъ $41\frac{1}{2}^\circ$, то выйдетъ подъ угломъ 90° , то есть по самой поверхности жидкости. Спрашивается: что произойдетъ если уголъ паденія внутри стекла будетъ болѣе $41\frac{1}{2}^\circ$, напримѣръ, будетъ равенъ 45° ? Чтобы получить отвѣтъ обратимся къ опыту. Поставимъ на пути луча кусокъ (фиг. 305) стекла образующій собою уголъ. Такой кусокъ называется *призмой*. Опытъ можно, напримѣръ, расположить по методу Декарта указанной въ § 244, фиг. 304. Лучъ, пройдя перпендикулярно чрезъ первую поверхность, падаетъ на вторую, дѣлая внутри стекла уголъ паденія abr равный углу призмы. Если уголъ призмы, а слѣдовательно и уголъ паденія менѣе $41\frac{1}{2}^\circ$, то лучъ преломится при точкѣ b и выйдетъ по направленію bc , незначительная же часть его bd отразится. Но если уголъ призмы, а слѣдовательно и уголъ паденія равенъ, напримѣръ, 45° , то никакая часть луча уже не выйдетъ изъ призмы: онъ весь отразится. Отсюда наименование *полное внутреннее отраженіе*. Призма въ этомъ случаѣ дѣйствуетъ какъ весьма совершенное зеркало, отражая болѣе чѣмъ, напримѣръ, поверхность ртути.

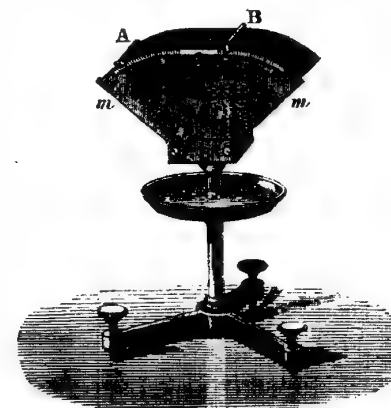


Фиг. 305.

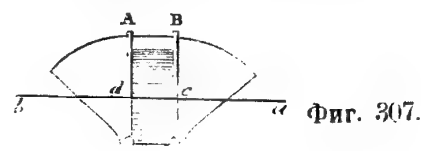
именованіе *полное внутреннее отраженіе*. Призма въ этомъ случаѣ дѣйствуетъ какъ весьма совершенное зеркало, отражая болѣе чѣмъ, напримѣръ, поверхность ртути.

Фиг. 306 представляетъ снарядъ, удобный для показанія начальныхъ опытовъ преломленія и внутреннего отраженія. Стекланные стѣнки A и B равнотолщинны, раздвигаясь между металличе-
скими стѣнками mm , образуютъ между собою пространство расширенное кверху, которое будучи наполнено водой или иною жидкостью представляетъ собою какъ бы жидкую призму.

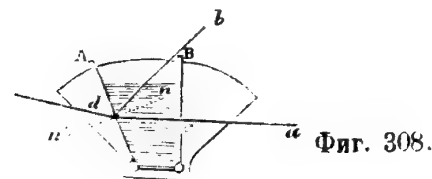
Если первую стѣнку B поставимъ перпендикулярно къ направленію падающаго луча ac , то путь луча по выходѣ изъ снаряда будетъ зависеть отъ положенія второй стѣнки A . Если она (фиг. 307) параллельна B , то лучъ пройдетъ безъ преломленія; если она наклонна, но такъ что уголъ паденія cdn (фиг. 308) менѣе угла преломленія, то часть луча выйдетъ изъ стѣнки B въ



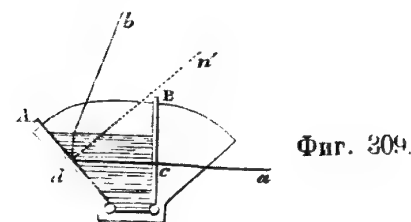
Фиг. 306.



Фиг. 307.

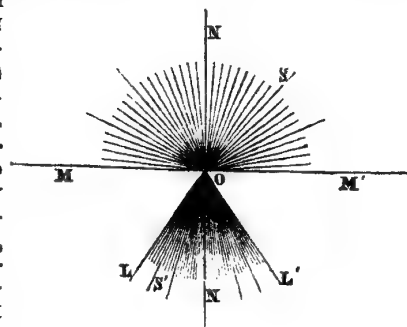


Фиг. 308.



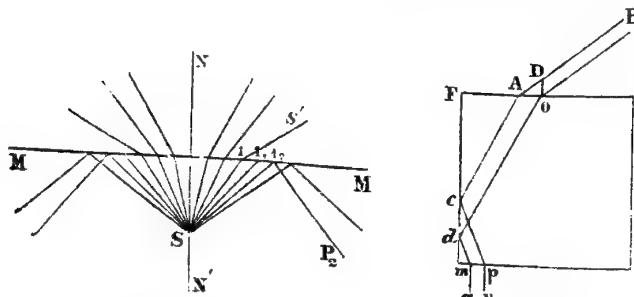
Фиг. 309.

воздухъ, удаляясь отъ перпендикуляра dn' , другая часть, слабѣйшая, отразится при d и выйдетъ по направлению отъ d къ b , преломившись при поверхности жидкости. Наконецъ, если стѣнка A будетъ наклонена такъ что (фиг. 309) уголъ adn' болѣе угла преломленія, то лучъ претерпитъ полное внутреннее отраженіе и никакая часть его не выйдетъ чрезъ стѣнку A . Присутствіе стеклянныхъ стѣнокъ не мѣшаетъ, какъ будетъ доказано ниже, явленію, и оно происходитъ такъ какъ еслибы жидкость непосредственно граничила съ воздухомъ.



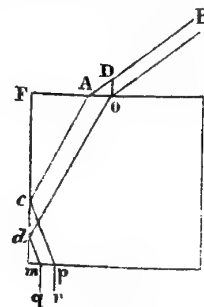
Фиг. 310.

Фиг. 310 и 311 могутъ служить для нагляднаго объясненія угла преломленія и полного внутренняго отраженія. Вся совокупность лучей, которые чрезъ точку O могутъ возникнуть изъ воздуха въ преломляющую среду, и которые въ воздухѣ образуютъ цѣлую полусферу, по преломленіи представляютъ собою конусъ имѣющій (фиг. 310) осью перпендикуляръ ON , а образующею линію OL , то-есть направленіе которому слѣдуетъ по преломленіи лучъ, падающій въ точку O подъ угломъ паденія почти равнымъ 90° . Уголъ LON есть *уголъ преломл.*



Фиг. 311.

Лучи выходящіе (фиг. 311) изъ точки S помѣщенной внутри преломляющей среды, выходя въ воздухъ, удаляются отъ перпендикуляра SN . Лучъ падающій на поверхность MM при точкѣ означенной цифрою 1, преломившись продолжаетъ путь



Фиг. 312.

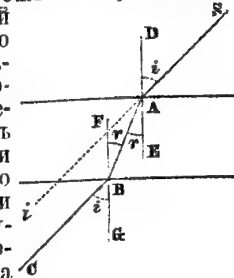
по направленію $1S'$, лучъ падающій при 1, выходитъ по самой поверхности MM ; лучъ I_2 уже не выходитъ, а весь отражается къ P_2 .

Фиг. 312 изображаетъ опытъ Кеплера „съ тѣломъ бросающимъ тѣнь не отъ солнца, а въ солнцу“. Do есть небольшое непрозрачное препятствіе, поставленное на прозрачномъ стеклянномъ кубѣ. Солнечные лучи BA и Bo , проходящіе у краевъ тѣла Do , входятъ, преломившись, внутрь стекла, затѣмъ при cd испытываютъ полное внутреннее отраженіе и выходятъ изъ куба при tr , бросая тѣнь qr . Черезъ бока F ни одного луча не выходитъ.

§ 246. Преломленіе въ средѣ ограниченной параллельными стѣнками. Выходящій послѣ преломленія лучъ въ этомъ случаѣ параллеленъ падающему, то-есть (фиг. 313) уголъ $i = i'$. Дѣйствительно, такъ какъ углы $EAB = FBA$, то по закону преломленія имѣемъ

$\sin i = n \cdot \sin r$ и $\sin i' = n \cdot \sin r$, а слѣдов. $\sin i = \sin i'$; $i = i'$

На опытѣ, если мы на пути пропущеннаго въ темную комнату пучка солнечныхъ лучей (на чертежѣ 313 лучъ SA можно разсматривать какъ центральный лучъ такого пучка) поставимъ наклонно кусокъ стекла съ параллельными стѣнками, то изображеніе перемѣстится въ сторону (центръ его опредѣлится направленіемъ BC) на величину меньшую чѣмъ толщина стекла, ибо только при паденіи почти параллельномъ съ поверхностію отклоненіе достигло бы величины почти равной толщинѣ стекла. Перемѣщеніе будетъ притомъ одинаково, примемъ ли изображеніе на экранѣ близко отъ стекла или далеко отъ него.



Фиг. 313.

§ 247. Преломленіе въ параллельныхъ слояхъ различной преломляемости. Относительный показатель преломленія. Опытъ (какой именно—упомянемъ ниже) свидѣтельствуетъ что и въ томъ случаѣ когда имѣемъ нѣсколько наложенныхъ одинъ на другой слоевъ разной преломляемости, ограниченныхъ параллельными стѣнками, лучъ падающій и выходящій параллеленъ между собою. Отсюда проистекаетъ очень важное заключеніе о величинѣ такъ-называемаго *относительнаго показателя преломленія*, то-есть показателя преломленія при переходѣ изъ одной преломляющей среды въ другую. Пусть, напримѣръ, на фиг. 314 верхній слой есть вода, нижній—стекло. Найти относительный показатель преломленія изъ воды въ стекло, значитъ найти отношеніе синуса угла r къ синусу угла r' . Назовемъ это отношеніе x . Тогда, если n есть пока-

затель преломления изъ воздуха въ воду, n' изъ воздуха въ стекло, будемъ имѣть:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n, \quad \frac{\sin r}{\sin r'} = x, \quad \frac{\sin r'}{\sin i'} = \frac{1}{n'}$$

Перемноживъ соотвѣтствующие члены, получимъ

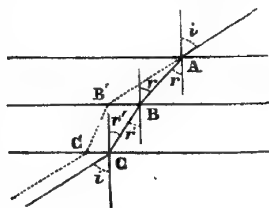
$$1 = \frac{nx}{n'}, \quad \text{откуда } x = \frac{n'}{n}$$

такъ какъ, по свидѣтельству опыта, $i = i'$.

Показатель преломления при переходѣ изъ среды *A* въ среду *B* равенъся отношенію показателя преломления среды *B* къ показателю преломления среды *A*. Показатель преломления изъ воздуха въ стекло, воду и другія тѣла есть также относительный показатель; абсолютный показатель относится къ случаю перехода изъ пустоты въ эти тѣла. Такъ какъ показатель преломления воздуха и вообще газовъ мало отличается отъ единицы (въ случаѣ воздуха = 1,00029), то абсолютные показатели преломления мало разнятся отъ показателей относительно воздуха.

Свойство слоевъ ограниченныхъ параллельными стѣнками облегчаетъ производство оптическихъ опытовъ съ жидкостями. При прохожденіи луча чрезъ жидкую массу, заключенную въ сосудѣ, стѣнки котораго представляютъ собою стеклянный слой однообразной толщины, явленіе происходитъ такъ, какъ еслибы лучъ прямо входилъ изъ воздуха въ жидкость. Такъ, въ случаѣ призмы изображенной на фиг. 306, — если стеклянные стѣнки ея правильно отшлифованы, — уголъ отклоненія преломленного луча таковъ какъ еслибы между воздухомъ и преломляющею поверхностью жидкости не было слоя стекла. Полное внутреннее отраженіе начинается (фиг. 309) подъ угломъ соотвѣствующимъ жидкости, хотя съ воздухомъ въ непосредственномъ прикосновеніи находится стекло и при переходѣ изъ жидкости въ стекло лучъ претерпѣваетъ только частное отраженіе *).

*) Если лучъ, пройдя чрезъ жидкость, падаетъ (фиг. 309) на стеклянную стѣнку подъ угломъ i соотвѣствующимъ углу предѣлу между жидкостью и воздухомъ, то-есть углу котораго $\sin i = \frac{1}{n}$ гдѣ n показатель жидкости, то назвавъ буквою r уголъ преломленія при вступленіи луча изъ жидкости въ стекло и принявъ во вниманіе что относительный показатель преломленія между водою и стекломъ есть $\frac{n'}{n}$, будемъ имѣть $\sin i =$



Фиг. 314.

При всякомъ переходѣ луча изъ одной преломляющей среды въ другую, вмѣстѣ съ преломленіемъ, замѣчается отраженіе и разсѣянiе. Это обстоятельство дѣлаетъ видимымъ прозрачное тѣло когда оно погружено въ жидкость неодинаковаго съ нимъ показателя преломления, какъ, напримѣръ, стекло въ водѣ. Если прозрачное тѣло погружено въ жидкость той же преломляемости какъ оно само, то оно становится невидимымъ. Чѣмъ значительнѣе разность показателей, тѣмъ отраженіе замѣтнѣе. Блескъ алмаза обусловливается тѣмъ что его показатель преломления имѣетъ значительную величину. Смѣшанные тѣла, проходя чрезъ которыя лучи многократно переходятъ изъ одной среды въ другую, являются непрозрачными хотя состоятъ изъ смеси прозрачныхъ веществъ. Таковы облака, пѣна, порошки прозрачныхъ тѣлъ. Непрозрачность и бѣлизна бумаги, состоящей изъ скученія прозрачныхъ волоконъ, зависятъ главнымъ образомъ отъ той же причины. Если пропитать бумагу масломъ, показатель преломленія котораго близокъ къ показателю преломленія ея волоконъ, то она теряетъ бѣлизну вследствие уменьшенія отраженія и становится полупрозрачною. Вода, смачивая бумагу, также уменьшаетъ ея отраженіе и дѣлаетъ ее болѣе просвѣчивающею. Нѣкоторые минералы скважистаго строенія, непрозрачные когда они сухи, становятся просвѣчивающими, когда смочены.

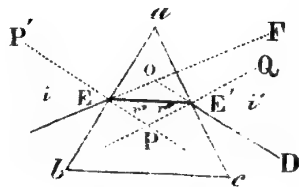
§ 248. Преломленіе въ призмѣ. Призмой въ оптическомъ смыслѣ именуется прозрачное тѣло, ограниченное двумя непараллельными плоскостями. Фиг. 315 представляетъ твехгранную стеклянную призму. Чтобы прослѣдить путь луча преломляемаго призмой, примемъ плоскость чертежа за плоскость паденія луча; треугольникъ *abc* (фиг. 316) представитъ пересѣченіе призмы этою плоскостію, которая, по закону преломленія, будетъ содержать въ себѣ лучъ какъ на протяжении его пути внутри призмы, такъ



Фиг. 315.

$\frac{1}{n} = \frac{n'}{n} \cdot \sin r$. Откуда $n' \cdot \sin r = 1$ или $\sin r = \frac{1}{n}$, то-есть на вторую поверхность стекла лучъ упадетъ подъ угломъ предѣльнымъ, съ котораго для стекла начинается полное внутреннее отраженіе. Лучъ, слѣдовательно, не выйдетъ въ воздухъ.

и по выходе из нее. Лучъ претерпитъ два преломле-
 ния: одно при точкѣ E , гдѣ вступаетъ въ призму,
 принимая направлѣніе EE' , приближающее его къ пер-
 пендикуляру $P'P$; другое при точкѣ E' , выходя въ
 воздухъ и удаляясь отъ перпендикуляра QR . Вид-
 имъ что по преломленіи въ призмѣ лучъ отклоня-
 ется отъ первоначальнаго направлѣнія DF , приближа-
 ясь къ основанію, то-есть къ толстому концу призмы.



Фиг. 316.

Слѣдующія уравненія выражаютъ условія преломленія луча
 черезъ призму, которой преломляющій уголъ bac назовемъ бу-
 квою A ; углы же паденія и преломленія буквами i и r при
 точкѣ E ; буквами i' и r' при точкѣ E' . Уголъ отклоненія луча
 FoD назовемъ буквою Δ .

$$(1) \sin i = n \sin r,$$

$$(2) \sin i' = n \sin r'$$

$$(3) A = r + r'$$

ибо $A + \angle EE'E + \angle E'E'E = 180^\circ = \angle EE'E + r + \angle E'E'E + r'$, ибо от-
 дѣльно $\angle EE'E + r = 90^\circ$ и $\angle E'E'E + r' = 90^\circ$. Отсюда $A = r + r'$.

$$(4) \Delta = i - r + i' - r',$$

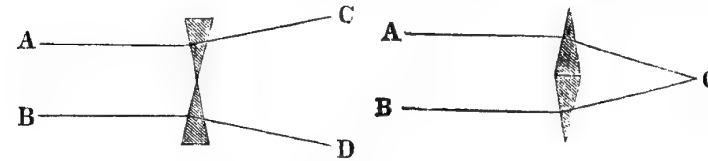
ибо $FoD = \angle EE'E' + \angle E'E'E$, гдѣ $\angle EE'E' = i - r$; $\angle E'E'E = i' - r'$.

Когда, какъ на чертѣжѣ $i = i'$, $r = r'$, то уголъ отклоненія имѣетъ
 наименьшую величину (*minimum* отклоненія). Въ этомъ слу-
 чаѣ точка паденія D преломленного луча на экранъ будетъ въ
 ближайшемъ разстояніи отъ точки F , куда упалъ бы лучъ если-
 бы не было призмы. Поворачивая призму въ ту или другую сто-
 рону, во всякомъ случаѣ замѣтимъ, что D удаляется отъ F .
 Если притомъ призма равносторонняя ($ab = ac$) то лучъ внутри
 ея идетъ параллельно съ ея основаніемъ.

Если уголъ призмы малъ, и падающій лучъ вступаетъ въ нее,
 дѣлая съ перпендикуляромъ паденія незначительный уголъ, то
 можно принять $i = nr$; $i' = nr'$. Тогда отклоненіе выразится
 $\Delta = A(n - i)$.

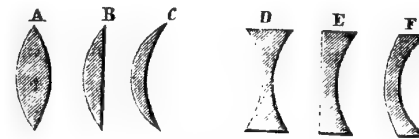
§ 249. Оптическія стекла или линзы. Представимъ
 себѣ тѣло, составленное (фиг. 317) изъ двухъ призмъ,
 сложенныхъ основаніями. Лучи проходящіе чрезъ

такое тѣло, отклоняясь къ основаніямъ его призмы,
 сближаются между собою. Напротивъ того тѣло



Фиг. 318.

изъ двухъ призмъ, сложенныхъ вершинами (фиг.
 318), удаляетъ лучи падающіе на верхнюю его
 часть отъ падающихъ на нижнюю. Вообще прозрач-
 ное тѣло болѣе толстое въ срединѣ чѣмъ къ краямъ
 должно сближать, болѣе толстое къ краямъ—удалять
 или разбрасывать падающіе лучи. Прозрачныя тѣла
 ограниченныя двумя сферическими или одною сфери-
 ческою, другою плоскою поверхностями, именуются
 оптическими стеклами или линзами (чечевицы) и бы-
 ваютъ двояковыпуклыя, плоско-выпуклыя, двояковогну-

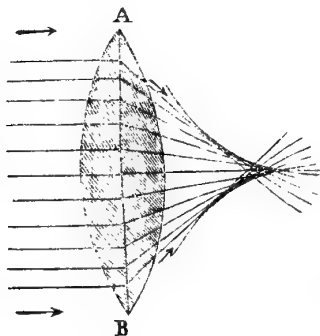


Фиг. 319.

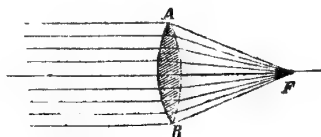
тыя, плоско-вогнутыя и мениски. Стекла которыя
 толще къ срединѣ чѣмъ къ краямъ, какъ A , B и C ,
 собираютъ лучи; стекла которыя толще къ концамъ
 какъ D , F , E , разбрасываютъ лучи. Первые именуютъ-
 ся собирающими, вторыя разсѣивающими.

На основаніи законовъ преломленія, можно, при-
 ниявъ опредѣленный показатель преломленія, сдѣлать
 точный чертѣжъ пути лучей проходящихъ чрезъ сте-
 кло опредѣленной кривизны, и убѣдиться (фиг. 320)
 что лучи въ случаѣ, напримѣръ, собирающаго стекла

приблизительно сойдутся въ одной точкѣ; при чемъ падающіе ближе къ краямъ представляютъ наибольшую *абберрацію* (подобно лучамъ, падающимъ на край зеркала на фиг. 285 въ § 232). Если загородимъ кольцеобразною діафрагмою края стекла, такъ чтобы оно дѣйствовало лишь центральною своею частію, или



Фиг. 320.



Фиг. 321.

если ограничивающія его кривизны составляютъ лишь малыя части сферическихъ поверхностей, то абберраціей, по ея незначительности, можно пренебречь и допустить что лучи собираются стекломъ (фиг. 321) въ одной точкѣ. Подъ этимъ условіемъ мы и будемъ въ нижеслѣдующемъ разсматривать дѣйствіе стеколъ. На фиг. 321 изображены лучи параллельные. На фиг. 322 представленъ путь лучей выходящихъ изъ точки *S* лежащей на оси и соединяющихся въ точкѣ *R*, далѣе того мѣста, гдѣ въ *F*, главною фокусъ, собираются параллельные лучи.



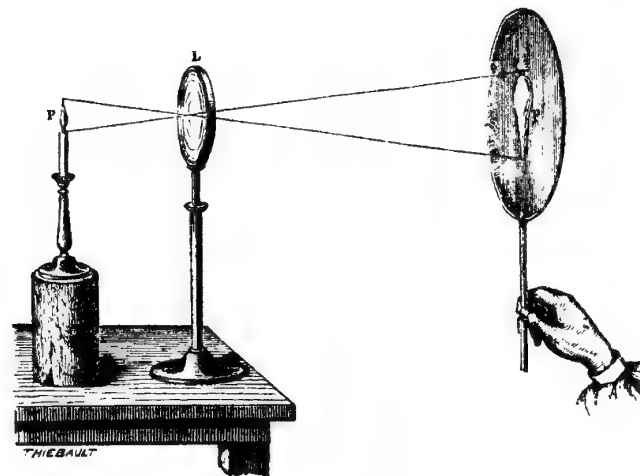
Фиг. 322.

§ 250. **Образованіе дѣйствительныхъ изображеній помощью собирающаго стекла.** Дѣйствіе собирающаго стекла представляетъ близкую аналогію съ дѣйствіемъ вогнутаго зеркала. Дѣйствительно:

1) Если выставить стекло на солнце такъ чтобы лучи падали параллельно его оси, то за стекломъ получается яркое малое изображеніе солнца опредѣляющее положеніе главнаго фокуса стекла. Въ этомъ мѣстѣ стекло оказываетъ *зажигательное* дѣйствіе. Чѣмъ ближе отъ стекла соединяются лучи, тѣмъ короче его фокусъ и тѣмъ менѣе свѣтлое пятнышко представляющее изображеніе солнца.

2) Если предъ стекломъ на разстояніи равномъ двойному фокусному разстоянію поставятъ свѣчу, то за стекломъ на экранѣ, помѣщенномъ на такомъ же разстояніи получится отчетливое изображеніе свѣчи верхъ ногами, но той же величины какъ самая свѣча.

3) Если придвинемъ свѣчу ближе къ стеклу (фиг. 323) чѣмъ его двойное фокусное разстояніе, то



Фиг. 323.

экранъ надо удалить и на немъ нарисуетъ обращенное изображение свѣчки въ *увеличенномъ* видѣ. Чѣмъ ближе станемъ подвигать свѣчу къ фокусу, тѣмъ далѣе будетъ уходить изображение, и тѣмъ далѣе надлежитъ отодвигать экранъ, чтобы принять его въ отчетливомъ видѣ. Если свѣча будетъ въ самомъ фокусѣ, то изображение удалится на разстояніе безконечное.

4) Если передвинуть свѣчу далѣе двойнаго фокуснаго разстоянія, то для полученія отчетливаго изображенія экранъ надо придвинуть ближе, обращенное изображение получится *уменьшенное* и тѣмъ ближе къ фокусу стекла, чѣмъ далѣе будетъ находиться свѣчка (изображение будетъ въ самомъ фокусѣ если свѣтящійся предметъ находится на безконечномъ разстояніи).

Назовемъ разстояніе предмета отъ стекла буквою d , разстояніе изображенія сзади стекла буквою f , главное фокусное разстояніе буквою F . Измѣряя различныя величины d , то-есть разстоянія свѣчи отъ стекла въ разныхъ случаяхъ и соответствующія разстоянія f экрана, принимающаго отчетливое ея изображение, можемъ убѣдиться, что формула выведенная для вогнутаго зеркала

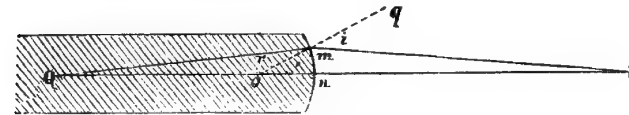
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

имѣетъ приложеніе и къ случаю стекла съ тою разницею что въ случаѣ зеркала величина $\frac{1}{F} = \frac{2}{R}$ зависитъ единственно отъ величины радіуса R , тогда какъ въ случаѣ стекла, какъ увидимъ ниже, $\frac{1}{F} = (n-1) \left(\frac{1}{R'} + \frac{1}{R''} \right)$ зависитъ не только отъ радіусовъ R' и R'' первой и второй поверхности стекла, но и отъ величины показателя преломленія n вещества стекла.

Измѣривъ величину свѣчи и величину ея изображенія въ разныхъ случаяхъ, можно убѣдиться что и здѣсь, какъ въ случаѣ вогнутаго зеркала, величина предмета къ величинѣ изображенія относится какъ d къ f . Центру зеркала тутъ соответствуетъ средина толщины стекла, такъ называемый *оптический центръ стекла*, и изображение находится въ углѣ образован-

номъ ливіями, проведенными отъ вершины и основанія предмета чрезъ оптический центръ. Изъ оптическаго центра предметъ и его изображеніе представляются подѣ одинаковымъ угломъ.

§ 251. Теоретическій выводъ формулы собирающаго стекла въ случаѣ дѣйствительныхъ изображеній. Лучъ, проходя чрезъ стекло, претерпѣваетъ два преломленія, одно при первой, другое при второй его поверхности. Разсмотримъ ихъ отдѣльно. Еслибы стеклянная масса была ограничена одною сферическою поверхностью (фиг. 324), то лучъ изъ точки S , на разстояніи $Sn=d$



Фиг. 324.

вступивъ при точкѣ m въ стекло, преломившись, приметъ бы путь mQ . Назовемъ радіусъ mQ поверхности буквою R' , разстояніе отъ n до Q , гдѣ лучъ внутри стекла пересѣкаетъ ось, буквою f . Не трудно найти величину f . Означимъ углы $Smq=i$, $omQ=r$; углы опирающіеся на дугу mn и имѣющіе вершины при точкахъ Q , o , S , этими самыми буквами.

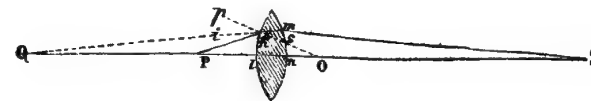
По закону преломленія $i = nr$, но $i = S + o$, $r = o - Q$; следовательно $S + o = n(o - Q)$, или $Q + nQ = (n-1)o$.

Замѣнивъ углы дугами, описанными изъ ихъ вершинъ радіусами равными единицѣ, будемъ имѣть, согласно § 234.

$$\frac{mn}{Sn} + \frac{n.mn}{Qn} = \frac{(n-1)mn}{on} \text{ или } \frac{1}{d} + \frac{n}{f} = \frac{n-1}{R'} \dots (1).$$

Если $d = \infty$, то $f' = F'$, главному фокусному разстоянію. Изъ формулы (1) имѣемъ $\frac{n}{F'} = \frac{n-1}{R'}$ или $F' = \frac{n}{n-1} R'$. Для стекла $n = 1.5$; следовательно разстояніе главнаго фокуса или точки гдѣ сходятся параллельные лучи будетъ $F' = 3R'$. Въ случаѣ воды, когда $n = 1.33$, $F' = 4R'$. Это замѣчаніе будетъ для насъ полезно въ теоріи зрѣнія.

Переломленный переднею поверхностью стекла лучъ, который, еслибы не было второй преломляющей поверхности, прямолинейно продолжалъ бы свой путь (фиг. 325) до точки Q , при к-



Фиг. 325.

встрѣчаетъ вторую поверхность, центръ которой есть o' , и претерпѣвъ новое преломленіе, выходитъ въ воздухъ удаляясь отъ перпендикуляра $o'r$ и встрѣчая ось въ точкѣ P . Назовемъ углы rKP и mko при точкѣ k буквами i' и r' . По закону преломленія имѣемъ $i' = nr'$, гдѣ $i' = o + P$, $r' = o + Q$, слѣд. $o + P = n(o + Q)$ или $P - nQ = (n-1)o$. Замѣнивъ углы дугами, получимъ

$$\frac{kl}{Pl} - n \cdot \frac{kl}{Ql} = \frac{(n-1)kl}{o'l}.$$

Положимъ $Pl = f$. Разстояніе Ql можно (пренебрегая толщиной стекла, которую предполагаемъ незначительно) считать равнымъ $Qn = f'$; радиусъ $o'l = R''$. Имѣемъ

$$\frac{1}{f} - \frac{n}{f'} = \frac{n-1}{R''} \dots (2).$$

Сложивъ формулы (1) и (2), получимъ

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R'} + \frac{1}{R''} \right) \dots (3).$$

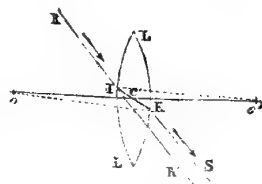
Если $d = \infty$, $f = F$ главному фокусному разстоянію. Имѣемъ

$$\frac{1}{F} = (n-1) \left(\frac{1}{R'} + \frac{1}{R''} \right).$$

Зная, следовательно, показатель преломленія и радиусъ передней и задней поверхности стекла, можно найти фокусное разстояніе F . Формула (3), какъ и въ случаѣ вогнутого зеркала можетъ быть представлена въ слѣдующемъ видѣ:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

§ 252. Геометрическое построение изображенія и разборъ частныхъ случаевъ. Если свѣтящаяся точка находится внѣ оси, то построение изображенія основывается, какъ и въ случаѣ вогнутого зеркала, на проведеніи *побочной оси*. Въ случаѣ стекла, побочная ось есть линія проведенная отъ свѣтящейся точки чрезъ *оптический центръ стекла*, который, — если передняя и задняя поверхность стекла одинаковой кривизны, — находится въ срединѣ толщины стекла. Лучъ имѣющій такое направленіе, что его преломленіе внутри стекла часть IK (фиг. 326) проходитъ чрезъ оптический центръ s , выходитъ изъ стекла параллельно первоначальному направленію: KS параллельна RI . Дѣйствительно, изъ равенства треугольниковъ osK и $o'Is$ (имѣ-



Фиг. 326.

ющихъ стороны $oK = o'I$, какъ радиусы дугъ одинаковой кривизны, $os = o's$, ибо каждая изъ нихъ равна радиусу безъ половины толщины стекла, и $Is = sK$ (по симметріи чертежа), слѣдуетъ что радиусъ oK параллеленъ радиусу $o'I$, а слѣдовательно и элементы сферической поверхности при точкахъ K и I , какъ перпендикулярны къ радиусамъ, параллельны между собою, и стекло въ этихъ точкахъ представляетъ слой ограниченный параллельными стѣнками, а мы знаемъ что въ такомъ случаѣ лучъ преломленный выходитъ параллельно падающему. Такъ какъ толщину стекла предполагаемъ незначительною, то линіи RI и KS можно считать почти совпадающими между собою и допустить что лучъ направленный къ оптическому центру проходить чрезъ стекло *не преломляясь*.

Пользуясь сказаннымъ не трудно найти гдѣ пересѣкаются, послѣ преломленія, *два* изъ лучей испускаемыхъ точкою B (фиг. 327), одинъ идущій по направленію побочной оси и другой Bm

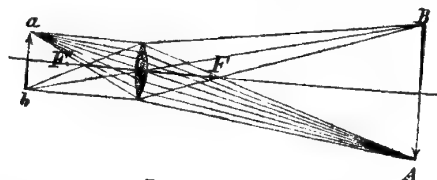


Фиг. 327.

параллельно главной оси. Первый пройдетъ не преломляясь, второй пересѣчетъ главную ось въ главномъ фокусѣ F (какъ точкѣ чрезъ которую проходятъ всѣ параллельные оси лучи). Они пересѣкутся въ точкѣ b . Принимая въ соображеніе что чѣмъ ближе точка B находится къ точкѣ S , тѣмъ ближе точка b должна быть къ точкѣ Q , гдѣ соединяются *всѣ* лучи, выходящіе изъ S , можемъ по аналогіи заключить что въ точкѣ b пересѣкаются не два только упомянутые луча, но и вообще всѣ лучи выходящіе изъ точки B . Точка b есть слѣдовательно изображеніе точки B и находится отъ центра стекла на разстояніи Ob приблизительно равномъ CQ . (Справедливость этихъ допущеній можно оправдать болѣе строгими теоретическими соображеніями, которыя опускаемъ чтобы не осложнять изложенія). Экранъ поставленный перпендикулярно къ оси пересѣкающій ее въ точкѣ Q пересѣчетъ приблизительно всѣ пучки преломленныхъ лучей, соответствующіе каждой одной изъ точекъ предмета SB , приблизительно въ ихъ вершинахъ (b есть одна изъ такихъ вершинъ) и на экранѣ получится обратное изображеніе предмета SB .

Фиг. 328 даетъ болѣе полное понятіе о ходѣ лучей соединяемыхъ стеклами, такъ что они даютъ на экранѣ изображеніе предмета. Если BA есть предметъ, то ab его изображеніе. На-

оборотъ, еслибы ab было предметомъ, то BA было бы изображеніемъ. Такъ какъ побочныя оси пересѣкаются въ центрѣ стекла O , то уголъ $BOA = aOB$: изображеніе находится въ



Фиг. 328.

углѣ, образуемомъ линіями, проведенными чрезъ центръ стекла отъ вершины и основанія предмета. Разстояніе изображенія f удовлетворяетъ формулѣ

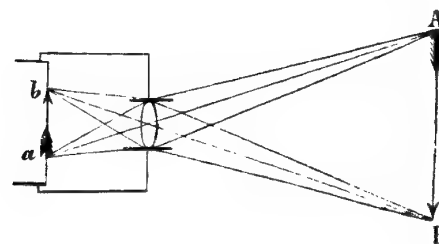
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

Если $d = \infty$, то $f = F$
 $d > 2F$, то $f < 2F$ и $> F$
 $d = 2F$, то $f = 2F$
 $d < 2F$ но $> F$, то $f > 2F$
 $d = F$, то $f = \infty$

Когда d менѣе F , то на экранѣ нельзя получить изображенія. О явленіяхъ, какія представляетъ стекло въ такомъ случаѣ для глаза смотрящаго чрезъ него, будемъ говорить ниже.

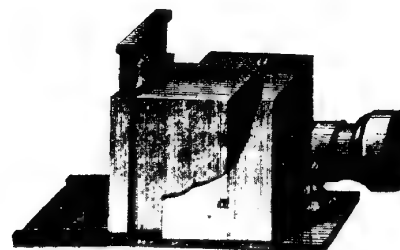
§ 253. Употребленіе собирающаго стекла въ оптическихъ инструментахъ. Камеръ-обскура. Свойствомъ собирающаго стекла давать изображенія на экранѣ пользуются во многихъ оптическихъ инструментахъ, и первыхъ въ камеръ-обскурѣ. Въ § 000 было указано, что лучи свѣта, проникая въ темную комнату чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ, рисуютъ на противоположной отверстію стѣнѣ неясное изображеніе внѣшнихъ предметовъ верхъ ногами. Порта указалъ способъ какимъ можно дать отверстію пропускающему лучи въ темную комнату значительную величину и между тѣмъ получить изображеніе несравненно отчетливѣе чѣмъ въ случаѣ малаго отверстія. Изображеніе это будетъ выстъ съ тѣмъ отличаться значи-

тельною яркостію вслѣдствіе обилія вошедшаго свѣта. „Возвѣщу, говоритъ онъ, то что доселѣ всегда умалчивалъ и полагалъ что надо бы умолчать. Если вставить въ отверстіе стеклянную чечевицу (выпуклое стекло), то увидишь все гораздо яснѣе: лица людей внѣ идущихъ, цвѣта, одежды, дѣйствія и пр., а если поглядѣть поближе, то представится такое пріятное зрѣлище, на которое всѣ кто видѣлъ не могли довольно надивиться“. Экранъ, принимающій изображеніе, долженъ быть поставленъ на опредѣленномъ разстояніи, чтобы принять пролагаемое стекломъ дѣйствительное изображеніе ab предмета AB (фиг. 329). Фиг. 330 изображаетъ камеръ-обскуру въ



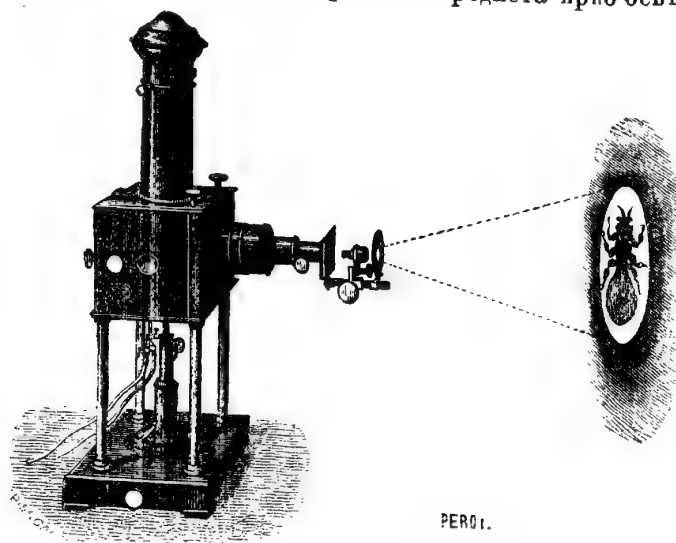
Виг. 329.

томъ видѣ какъ этотъ снарядъ употребляютъ для снятія фотографическихъ изображеній.



Фиг. 330.

§ 254. Солнечный и фотоэлектрический микроскопъ. Волшебный фонарь. Солнечный и фотоэлектрический микроскопъ есть также приложеніе свойства собирающаго стекла давать изображенія на экранѣ. Изображеніе маленькаго прозрачнаго предмета ярко освѣ-



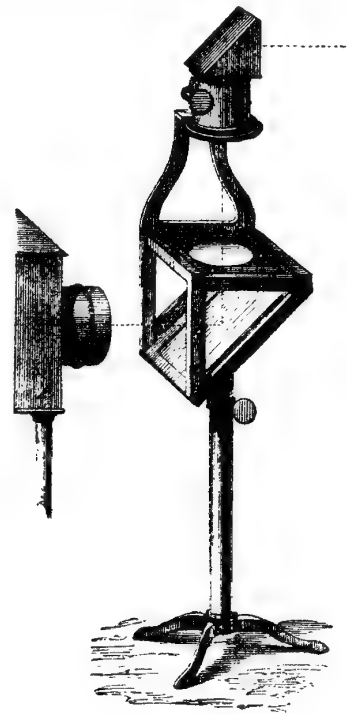
Фиг. 331.

щенного солнечными лучами (собственно солнечный микроскопъ) или электрическимъ, или Друмондовымъ свѣтомъ, пролагается на экранъ дѣйствіемъ собирающаго стекла съ короткимъ фокусомъ. Фиг. 331 представляетъ фотоэлектрический микроскопъ надѣтый на фонарь французскаго оптика Дюбука, служащій для помѣщенія регулятора электрическаго свѣта (о фонарѣ этомъ было уже говорено настр. 305, фиг. 271). Изображеніе представляется въ весьма увеличенномъ видѣ. Если, напримѣръ, фокусное разстояніе стекла равно 4 миллиметрамъ, то на экранѣ, удаленномъ на 4 метра отъ стекла предметъ представится почти въ тысячу разъ болѣе своей дѣйствительной величины.

Сосредоточеніе на предметъ свѣта солнечнаго или иного достигается помощью особой системы стеколъ.

Волшебный фонарь основывается на томъ же началѣ какъ и солнечный микроскопъ съ тою разницею, что пролагаемые имъ предметы (обыкновенно рисунки на стеклѣ сдѣланные прозрачными красками или прозрачныя фотографіи) значительно болѣе чѣмъ мелкіе предметы пролагаемые микроскопомъ, и потому пролагающее стекло берется съ сравнительно длиннымъ фокуснымъ разстояніемъ (въ нѣсколько сантиметровъ).

Фонарь Дюбоска, употребляемый для оптическихъ опытовъ на лекціяхъ есть не что иное какъ волшебный фонарь, освѣщаемый электрическимъ свѣтомъ.



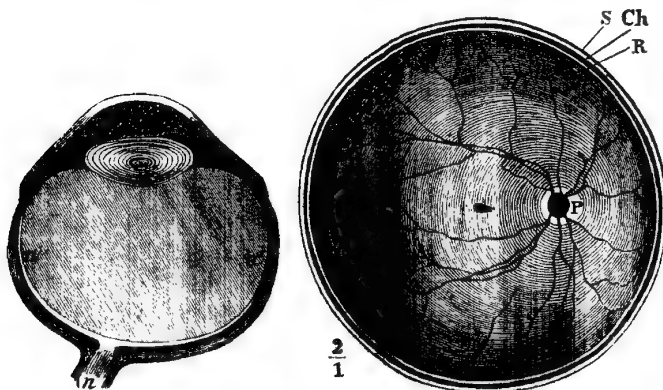
Фиг. 332.

Прологающее стекло помещается обыкновенно на отдельномъ стативѣ.

Во многихъ опытахъ неудобно ставить пролагаемые предметы вертикально. Для этихъ случаевъ Дюбоскъ устроилъ снарядъ, изображенный на фиг. 332. Лучи изъ фонаря падаютъ на зеркало подѣ угломъ 45° и отражаясь вверхъ освѣщаютъ предметъ лежащій горизонтально. Стекло, еслибы не было поверхъ его отражающей призмы, проложило бы изображение на потолокъ. Призма, отражая полнымъ внутреннимъ отраженіемъ лучи въ горизонтальномъ направленіи, переноситъ изображение на экранъ.

Глазъ и зрѣніе.

§ 255. Устройство глаза. Глазное яблоко помещается во впадинѣ образуемой костями черепа. Въ оптическомъ отношеніи глазъ можно сравнить съ камеръ-обскуромъ. Деревянному ящику камеръ-обскуры соответствуетъ оболочка подобно скорлупѣ облагающая глазъ и называемая склеротикою. Эта бѣлая, довольно толстая и крѣпкая перепонка, часть которой видима чрезъ отверстіе въѣвъ, именуется *блѣкомъ*. Подъ склеротикою находится *сосудистая оболочка* (*choroidea*), которая почти цѣликомъ состоитъ изъ переплетенныхъ кровяныхъ сосудовъ и пропитана чернымъ пигментомъ, вслѣдствіе чего внут-



Фиг. 333.

Фиг. 334.

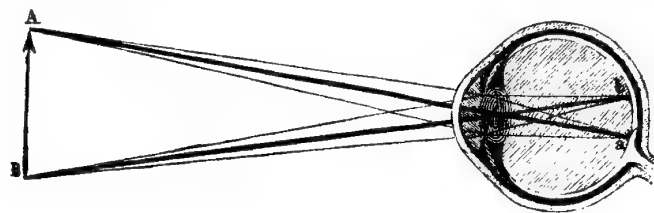
ренность глаза представляется вычерненной подобно внутренности камеръ-обскуры. Третья, самая внутренняя оболочка, называемая *ретиною* или *сѣтчатой оболочкою*, есть продолженіе *оптического нерва*. Нервъ этотъ (означенный буквою *n* на фиг. 333) входитъ въ глазъ съ его задней стороны, не въ центральной ея части, но нѣсколько ближе къ сторонѣ носа. Проникнувъ въ глазъ, нервъ развѣтвляется по его внутренней поверхности, преобразуясь въ сѣтчатую оболочку, представляющую собою слой весьма сложнаго строенія, въ родѣ мелкой мозаики изъ малѣйшихъ *столбиковъ* и *кониковъ*, соединенныхъ съ тонкими нервными волокнами. Передняя часть глаза—прозрачная роговая оболочка или *cornea* укрѣпленная къ склеротикѣ представляетъ собою выпуклый сфероидальный слой. За нею встрѣчаемъ *воднистую влагу* и *хрусталикъ*, прозрачное упругое тѣло слоистаго роговаго строенія, покрытое съ передней стороны *радужною перепонкою* (отъ которой зависитъ цвѣтъ глаза) имѣющей въ срединѣ круглое отверстіе зз' именуемое *зрачкомъ*. Радужная оболочка обладаетъ въ значительной степени сокращаеюмостью, и потому зрачокъ можетъ увеличиваться или уменьшаться, оставляя открытой большую или меньшую часть хрусталика. На фиг. 334, изображающей вертикальное сѣченіе и внутреннюю полость глаза, *S* есть склеротика, *Ch* сосудистая оболочка, *R* ретина; *P* мѣсто вхожденія оптического нерва. Отъ этого мѣста развѣтвляются кровяные сосуды, видимые на чертежѣ. Около центральной части ретины находится *желтое пятно*, наиболѣе чувствительное для свѣта мѣсто ретины. Въ срединѣ его очень прозрачное углубленное мѣсто—*fovea centralis*, видимое на чертежѣ влѣво отъ точки *P*.

§ 256. Глазъ какъ оптический инструментъ. Уже Порта сравнивалъ глазъ съ темною комнатою, а зрачокъ съ

„отверстіемъ въ ставнѣ“ чрезъ которое проникаютъ лучи. Но отверстіе зрачка слишкомъ велико чтобы дать внутри глаза ясное изображеніе вѣншихъ предметовъ Глазъ, какъ сказано, есть подобіе камеръ-обскуры. Лучи, преломляясь въ прозрачныхъ средахъ глаза, даютъ на его задней поверхности маленькое изображеніе верхъ ногами предметовъ находящихся предъ глазомъ, подобное изображенію рисующемуся на матовомъ стеклѣ камеръ-обскуры. Есть, впрочемъ, въ теоретическомъ отношеніи существенное различіе между глазомъ и камеръ-обкурою. Внутренность глаза вся наполнена преломляющею средой, тогда какъ въ камеръ-обскурѣ преломляющее тѣло есть стекло, предъ собою и сзади себя имѣющее воздухъ. Хрусталикъ не имѣетъ такого значенія какъ стекло камеръ-обскуры, ибо погруженъ въ среду, по оптическимъ свойствамъ, не много отличающуюся отъ его собственного матеріала. Показатель преломленія водянистой и стекловидной влаги есть 1,337 (почти $\frac{4}{3}$, какъ воды), хрусталика въ среднемъ числѣ 1,42. Соединеніе лучей главнымъ образомъ производится дѣйствіемъ передней кривизны глаза. Еслибы показатель преломленія хрусталика вовсе не отличался отъ показателя среды гдѣ онъ находится, то теорія глаза какъ оптического инструмента привелась бы къ случаю преломленія въ средѣ ограниченной одною выпуклою поверхностью, который былъ указанъ въ § 251. Мы видѣли что въ такомъ случаѣ соединеніе параллельныхъ лучей, а слѣдовательно и мѣсто изображенія отдаленныхъ предметовъ, въ случаѣ если показатель преломленія есть $\frac{4}{3}$, бываетъ на разстояніи отъ вершины равномъ четыремъ радіусамъ передней кривизны. Такъ какъ радіусъ кривизны передней поверхности глаза бываетъ, какъ показали измѣренія, около 8 миллиметровъ, то ясное изображеніе отда-

ленныхъ предметовъ было бы на разстояніи 32 миллиметровъ отъ вершины глаза. На такомъ разстояніи должна бы находиться ретина чтобы получилось ясное изображеніе предметовъ. Между тѣмъ извѣстно что длина нормальнаго глаза бываетъ около 23 миллиметровъ. Слѣдовательно изображеніе на ретинѣ не могло бы быть яснымъ такъ какъ она на 9 миллиметровъ ближе той плоскости гдѣ въ такомъ случаѣ соединялись бы лучи. Но такъ какъ показатель преломленія хрусталика болѣе показателя окружающей его среды, то лучи преломленные переднюю поверхностью глаза и стремящіеся соединиться на разстояніи 32 миллиметровъ сводятся новымъ преломленіемъ въ хрусталикѣ ближе между собою и могутъ соединиться тамъ гдѣ находится ретина.

Принимая въ соображеніе преломленіе въ хрусталикѣ, можно оптическое дѣйствіе глаза среднихъ размѣровъ разсматривать какъ дѣйствіе одной преломляющей поверхности, радіусъ которой равняется приблизительно 5 миллиграмъ, центръ же находится въ точкѣ *k* (фиг. 335) близъ задней поверхно-



Фиг. 335.

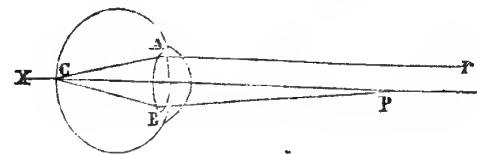
сти хрусталика. Чтобы построить изображеніе предмета *AB* на ретинѣ мы должны отъ *A* и *B* провести линію чрезъ точку *k* до ретины въ точкахъ *a* и *b* (фиг. 335). Если предметъ находится на очень далекомъ разстояніи, то изображеніе будетъ отчетливое, если ретина находится въ 15 миллиметрахъ отъ центра *k*. Еслибы мы хотѣли приравнять глазъ стеклу, то фокусное разстояніе этого стекла было бы 15 миллиметровъ. Но изображеніе болѣе близкихъ предметовъ такое стекло дало бы не на томъ разстояніи какъ теоретическій глазъ (предполагаемый неизмѣненнымъ при наблюденіи какъ далекихъ такъ и близкихъ предметовъ). Стеклу замѣняющему глазъ надо бы

было приписать иную кривизну. Теоретический глаз нельзя, потому, приравнять собирающему стеклу, но можно, как упомянуто, приравнять одной преломляющей поверхности.

Для доказательства существованія внутри глаза обращеннаго изображенія внешнихъ предметовъ, Декартъ бралъ „глазъ“ человека недавно умершаго или свѣжій глазъ быка или иного большаго животнаго; срѣзалъ искусно при днѣ его три оболочки такъ что достаточная часть (стекловидной) влаги оставалась открытою, но влага не разливалась; закрывалъ обнаженное мѣсто какимъ-либо былымъ просвѣчивающимъ тѣломъ, напримеръ бумагой или яичною скорлупой, и вставлялъ такой глазъ въ отверстіе ставни... такъ чтобы въ комнату лучи могли проникнуть только чрезъ глазъ... Сдѣлавъ такъ, если посмотримъ на бѣлое тѣло, то увидимъ на немъ, не безъ удивленія, можетъ быть, и не безъ удовольствія, рисунокъ представляющій въ перспективѣ внешніе предметы... Глазъ при этомъ долженъ сохранять натуральную форму; если нѣсколько сжать его, то рисунокъ будетъ не отчетливъ“.

§ 257. Приспособленіе глаза къ различнымъ разстояніямъ. Если камеръ-обскура установлена такъ что отдаленные предметы отчетливо рисуются на ея матовомъ стеклѣ, то предметы близкіе изображаются неясно. Подобнымъ образомъ и глазъ не можетъ въ одно и то же время дать на ретинѣ отчетливое изображеніе и отдаленныхъ и близкихъ предметовъ. Что мы не можемъ одновременно видѣть одинаково ясно предметы находящіеся на разномъ разстояніи, въ этомъ можно убѣдиться помощью слѣдующаго опыта. Если держать предъ глазомъ (закрывъ другой) на разстояніи дюймовъ шести кисею или другую прозрачную ткань, а сзади ея сутахъ въ двухъ развернутую книгу, то можно, по произволу, видѣть ясно или буквы книги,—и тогда ткань представится предъ ней какъ легкій туманъ,—или нити ткани,—и тогда нельзя разобрать напечатанное. При этомъ чувствуется нѣкоторое напряжение когда глазъ переходитъ отъ разсматриванія одного изъ этихъ предметовъ къ разсматриванію другаго. Въ камеръ-обскурь матовый экранъ удаляютъ отъ стекла чтобы получить ясное изображеніе болѣе близ-

каго предмета. Но глазъ не можетъ ни удлинняться, ни укорачиваться и наружную форму сохраняетъ безъ измѣненія, разсматриваетъ ли онъ отдаленный или близкій предметъ. *Приспособленіе* глаза къ различнымъ разстояніямъ достигается другимъ способомъ, а именно измѣненіемъ формы хрусталика, который не есть твердое тѣло подобное стеклу, а напротивъ, представляетъ собою родъ упругой чечевицы, которую въ обыкновенномъ состояніи окружающія части слегка тянутъ по направленію отъ середины къ краямъ. Какъ скоро растяженіе ослабѣваетъ (а это достигается дѣйствіемъ вокругъ расположеннаго мускула), чечевица становится болѣе выпуклою и именно въ передней своей части. Болѣе выпуклый хрусталикъ сильнѣе преломляетъ свѣтъ, и лучи, которые при менѣе выпуклой поверхности хрусталика соединялись бы дальше ретины, соединяются на ретинѣ. Глазъ становится приспособленнымъ къ наблюденію близкихъ предметовъ. На фиг. 336 глазъ въ верхней половинѣ чертежа изображенъ безъ приспособленія, когда *параллельные* лучи соединяются въ точкѣ



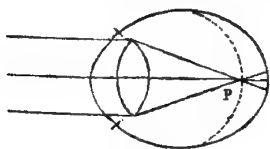
Фиг. 336.

С на ретинѣ. Въ нижней половинѣ хрусталикъ представленъ измѣненнымъ такъ что лучи *расходящіеся* изъ точки Р соединяются въ точкѣ С.

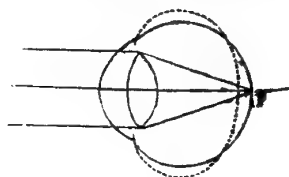
Усиленіе выпуклости хрусталика, когда глазъ приспосабливается къ близкимъ разстояніямъ, доказывается наблюденіемъ отраженія лампы въ передней поверхности хрусталика. Отраженное изображеніе, которое, при нѣкоторыхъ предосторож-

ностях, можно усмотреть въ изслѣдуемомъ глазѣ, перемѣщается и измѣняется въ величинѣ, когда глазъ наблюдаемаго субъекта, вначалѣ смотрящаго на отдаленный предметъ, приспособляется къ близкому разстоянію.

§ 258. Какъ раздѣляются глаза по отношенію къ разстоянію яснаго зрѣнія. Нормальнымъ или *эмметропическимъ* именуется такой глазъ, который, *безъ приспособленія*, даетъ на ретинѣ ясное изображеніе отдаленныхъ предметовъ, и слѣдовательно соединяетъ на ретинѣ въ одну точку (означенную буквою Р на фиг. 338) лучи входящіе въ глазъ цилиндрическими пучкомъ (параллельные между собою). Для такого глаза *дальнѣйшая точка яснаго зрѣнія*—*punctum remotum* находится на далекомъ, говоря математически, на безконечномъ разстояніи. Глазъ, который безъ приспособленія соединяетъ на ретинѣ *расходящіеся* лучи, а параллельные слѣдовательно соединяетъ до ретины (фиг. 337) *помѣщенной слишкомъ*



Фиг. 337.



Фиг. 338.

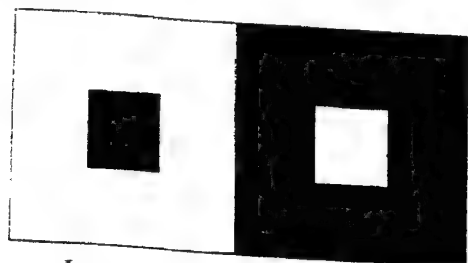
далеко (оттого напимѣръ что глазъ длиннѣе обыкновеннаго) называется *миопическимъ* или *близорукимъ*. Такой глазъ видитъ ясно предметы находящіеся отъ него не въ дальнемъ разстояніи: *punctum remotum* тѣмъ ближе чѣмъ значительнѣе близорукость. Наконецъ, глазъ который *безъ приспособленія* соединяетъ на ретинѣ только такіе лучи, которые на него падаютъ уже сходящимися, и который потому безъ приспособленія не можетъ дать яснаго изображенія ни далекихъ, ни близкихъ предметовъ называется *гиперметропическимъ* (параллельные лучи онъ соединяетъ *далѣе* ретины, такъ бываетъ если глазъ, напимѣръ, слишкомъ коротокъ; (на фиг. 338 подобный случай означенъ пунктиромъ). Глазъ каждаго изъ этихъ разрядовъ можетъ имѣть способность приспособленія въ разной степени. Приспособленіе въ случаѣ *эмметропическаго* глаза позволяетъ помѣстить на ретинѣ отчетливое изображеніе близкихъ предметовъ, которое иначе было бы далѣе ретины. То ближайшее разстояніе на какомъ глазъ, съ помощью приспособленія, можетъ получить ясное изображеніе предметовъ называется *punctum proximum*. Нормальное разстояніе *punctum proximum* принимается около 20 сантиметровъ. Въ случаѣ глаза близоруккаго, *punctum proximum* обы-

кновенно еще ближе къ глазу (это обстоятельство само по себѣ не представляетъ недостатка). Если *punctum proximum* далѣе 20 сантиметровъ, то вообще глазъ называется *дальнозоркимъ*. Такой глазъ не можетъ видѣть ясно близкіе предметы. Это есть недостатокъ приспособленія и потому не можетъ противопоставляться близорукости. Последняя опредѣляется состояніемъ глаза *безъ приспособленія*, дальнорукость же его состояніемъ при наибольшемъ приспособленіи. Разстояніе между *punctum remotum* и *punctum proximum* именуется *шириною приспособленія*. Въ случаѣ гиперметропическаго глаза ясное зрѣніе возможно только съ приспособленіемъ и слѣдовательно всегда съ нѣкоторымъ напряженіемъ зрѣнія.

§ 259. Особенности и недостатки изображенія на ретинѣ. „При сравненіи глаза съ какимъ-либо оптическимъ инструментомъ, говорить Гельмгольцъ, прежде всего поражаетъ его превосходство по отношенію къ *полю зрѣнія* (т.е. сразу обозрѣваемому пространству). Каждый глазъ обозрѣваетъ сразу навѣо сразу около 160°, сверху внизъ около 120°, оба озираютъ въ горизонтальномъ направленіи нѣсколько болѣе 180°. Между тѣмъ поле зрѣнія нашихъ инструментовъ вообще очень мало и тѣмъ менѣе чѣмъ значительнѣе увеличеніе. Но должно замѣтить что отъ инструментовъ мы требуемъ полной отчетливости изображенія, тогда какъ отъ изображенія на ретинѣ требуется большая ясность только на маломъ протяженіи занимаемомъ желтымъ пятномъ. Диаметръ средняго углубленія этого пятна (*fovea centralis*) соответствуетъ въ полю зрѣнія приблизительно одному градусу, т.е. протяженію какое покрываетъ собою ноготь указательнаго пальца если держать руку предъ собою въ удаленіи. Въ этой малой части поля зрѣнія отчетливость зрѣнія такова, что позволяетъ различить двѣ точки удаленныя одна отъ другой на одну минуту, т.е. на $\frac{1}{60}$ долю ширины ногтя въ сказанномъ положеніи. Это разстояніе соответствуетъ ширинѣ одного коника ретины. Всѣ другія части изображенія на ретинѣ видны неясно и тѣмъ смутнѣе чѣмъ ближе къ предѣламъ ретины. Такимъ образомъ картину представляемую глазомъ можно сравнить съ рисункомъ котораго средняя часть очень тонко отдѣлана, а остальныя наоборотъ грубо... Недостатокъ отчетливости боковаго зрѣнія вознаграждается чрезвычайною подвижностію глазъ позволяющею направлять послѣдовательно и весьма быстро взоръ на все интересное насъ въ полѣ зрѣнія. Въ этой подвижности главное преимущество глаза предъ оптическими инструментами. Столь же скоро какъ движеніе взора вверхъ, внизъ, влѣво, вправо совершается приспособленіе глаза къ разнымъ разстояніямъ. Изображеніе близкихъ и далекихъ предметовъ одновременно не можетъ быть одинаково отчетливымъ на ретинѣ, но послѣдовательно эта отчетливость достигается съ такою быстротою, что большинство людей и не сознаетъ этихъ перемѣнъ“.

Самое изображение на ретинѣ, которое въ боковыхъ ея частяхъ ощущалось бы, согласно сказанному, не отчетливо если бы даже было совершенно въ оптическомъ отношеніи, на дѣлѣ въ этомъ отношеніи представляетъ значительные недостатки.

Кромѣ неотчетливости происходящей отъ сферической аберраціи, особенно замѣтной въ боковыхъ частяхъ изображенія, есть еще болѣе рѣзкая неотчетливость, происходящая отъ такъ называемаго *астигматизма* глаза, то-есть отъ того обстоятельства, что преломляющія поверхности глаза не суть правильныя сферическія или эллипсоидальныя, а въ разныхъ своихъ меридіанахъ представляютъ разную кривизну. Вслѣдствіе этого мы не можемъ одновременно видѣть одинаково ясно горизонтальную и вертикальную линіи помѣщенныя на томъ же разстояніи (образующія, напримѣръ, крестъ), и изображение свѣтящейся точки есть въ строгости тѣлое пятнышко. Пятнышко это, кромѣ того, неправильно лучеобразно, вслѣдствіе волокнистаго строенія хрусталика. Въ этомъ причина почему звѣзды кажутся намъ не точками, а пятнышками съ лучами. Далѣе, хрусталикъ и влаги глаза не суть тѣла совершенно прозрачныя, а напротивъ, представляютъ собою среды до известной степени мутныя. Если чрезъ малое отверстіе смотрѣть на широкую свѣтлую поверхность, напримѣръ на чистое небо, то не трудно замѣтить въ полѣ зрѣнія многочисленныя точки, какъ ощущеніе тѣни мелкихъ тѣлъ взвѣшанныхъ въ жидкостяхъ глаза, а также волоконъ и пятенъ хрусталика. Мутность среды одна изъ причинъ неясности изображенія темнаго предмета на яркомъ фонѣ и наоборотъ. Неясность очертаній подобныхъ изображеній есть главная, должно думать, причина явления *иррадиации*, состоящаго въ томъ что бѣлый предметъ на темномъ фонѣ кажется больше темнаго на свѣтломъ фонѣ (фиг. 339 и 340).



Фиг. 339.

Фиг. 340.

§ 260. Слѣнос пятно Мариотта. „Давно любопытствуя узнать, говоритъ Мариоттъ, происходитъ ли зрѣніе сильнѣе или слабѣе въ томъ мѣстѣ гдѣ входитъ оптический нервъ, я сдѣлалъ

любопытное наблюденіе какого не ожидалъ. Я зналъ что зрѣніе происходитъ чрезъ воспріятіе лучей, образующихъ изображение на днѣ глаза, и что изображение это имѣетъ обращенное положеніе, противоположное положенію представляемаго имъ предмета. Кромѣ того я часто наблюдалъ, при анатомическихкихъ разсѣченіяхъ глаза человѣка и животныхъ, что оптический нервъ (Р на фиг. 335) никогда не соотвѣтствуетъ точно срединѣ дна глаза, то-есть мѣсту гдѣ рисуется изображение предметовъ, на которые глазъ прямо смотритъ; и что у человѣка онъ немного выше и къ сторонѣ носа. Чтобы заставить лучи предмета упасть на оптический нервъ моего глаза и испытать что оттого произойдетъ, я прикрѣпилъ на темномъ фонѣ, приблизительно на высотѣ моихъ глазъ, маленький кружокъ бѣлой бумаги, долженствовавшій служить неподвижною точкой зрѣнія и въ то же время велѣлъ другой кружокъ держать съ боку отъ перваго, вправо на разстояніи около двухъ футовъ, но нѣсколько пониже, такъ чтобы изображение его упало на оптический нервъ моего праваго глаза, когда какъ лѣвый я зажмурю. Я сталъ противъ перваго кружка и постепенно удалялся, не спуская съ него праваго глаза. Когда я былъ на разстояніи около девяти футовъ, второй кружокъ имѣвшій величину около четырехъ дюймовъ *совсѣмъ исчезъ* изъ поля зрѣнія. Я не могъ приписать это его боковому положенію, ибо различалъ другіе предметы, находившіеся еще болѣе съ боку чѣмъ онъ. Я подумалъ бы что его сняли, если бы не находилъ его вновь при малѣйшемъ передвиженіи глаза. Но тотчасъ какъ я устремлялъ взоръ на первую бумажку, эта другая бывшая вправо исчезала; и чтобы замѣтить ее, не передвигая глаза, надо было немного переимѣнить мѣсто. Я сдѣлалъ тотчасъ же опытъ на другихъ разстояніяхъ соотвѣтственно удаляя бумажки одну отъ другой или сближая ихъ между собою. Я повторилъ опытъ съ лѣвымъ глазомъ, закрывъ правый и перенесъ бумажку влево отъ точки прямого зрѣнія. Соображая положеніе частей глаза нельзя было сомнѣваться что замѣченный недостатокъ принадлежитъ главному нерву. И замѣчательно что когда такимъ образомъ теряется изъ виду черный кружокъ на бѣломъ фонѣ, то не замѣчается никакой



Фиг. 341.

тѣни или темноты на мѣстѣ гдѣ черная бумажка, но фонъ на всемъ протяженіи кажется бѣлымъ. Помощію фиг. 341 не

трудно повторить опыт Мариотта, закрывъ лѣвый глазъ, правымъ смотря на крестикъ и держа страницу въ разстояніи 2 съ небольшимъ дециметровъ отъ глаза. Явленіе происходитъ отъ того что въ мѣстѣ вхожденія нерва въ глазъ отсутствуютъ элементы ретины по преимуществу чувствительные для свѣта.

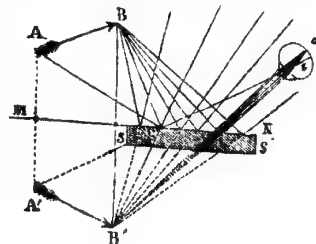
§ 261. Сохраненіе впечатлѣній въ глазѣ. Впечатлѣніе производимое на ретину исчезаетъ не тотчасъ; нервъ продолжаетъ ощущать его нѣкоторое время и послѣ того какъ причина производшая ощущение прекратила дѣйствіе. Свѣтъ электрической искры, свѣтъ молнии продолжающіеся весьма малую долю секунды кажутся намъ длящимися весьма замѣтное время, равное времени какое длится наше ощущение (напримѣръ $\frac{1}{5}$ или $\frac{1}{4}$ долю секунды). Вслѣдствіе сохраненія впечатлѣній быстро перемѣщающаяся свѣтящаяся точка кажется оставляющею слѣдъ въ пространствѣ (такъ бываетъ, напримѣръ, если кружить раскаленный уголь): точка перемѣстилась, а мы продолжаемъ видѣть ее на прежнемъ мѣстѣ, и при быстромъ перемѣщеніи она заразъ кажется на всѣхъ точкахъ своего пути. Дрожащая бѣлая струна на темномъ фонѣ кажется видимо расширенною. Спицы колеса или черные секторы на бѣломъ кругѣ при быстромъ вращеніи сливаются въ одну, какъ бы покрытую тѣнью поверхность. Но если освѣтимъ ихъ мгновеннымъ свѣтомъ электрической искры, то они сдѣлаются видимы, и колесо или кругъ представятся неподвижными (такъ, при освѣщеніи молніей, кажется неподвижнымъ быстро вдушій экипажъ). Вслѣдствіе сохраненія впечатлѣній, мы въ продолженіе $\frac{1}{5}$ или $\frac{1}{4}$ секунды будемъ видѣть ихъ въ томъ состояніи въ какомъ они находятся въ продолженіи, напримѣръ, одной стотысячной или меньшей доли секунды, когда слѣдовательно они успѣли перемѣститься на самый незначительный уголь: они кажутся неподвижными. Струя воды или иной жидкости, истекающая изъ отверстія въ днѣ сосуда, видимо состоитъ изъ двухъ частей: одной прозрачной, какъ

палочка стекла, у отверстія; другой мутной и неспокойной,—далѣе. При мгновенномъ освѣщеніи искрой можно убѣдиться что эта мутная часть состоитъ изъ отдѣльныхъ, слѣдующихъ одна за другою капель, которыхъ быстрая послѣдовательность есть причина непрерывности впечатлѣнія. (Составъ струи изъ отдѣльныхъ капель подтверждается еще простымъ опытомъ: пересѣкая струю картономъ; получаемъ на немъ отдѣльные пятна, а не непрерывную полосу.)

§ 262. Зрѣніе какъ психическій актъ составленія картины вишняго міра. Впечатлѣнія доставляемыя глазнымъ нервомъ служатъ матеріаломъ для дѣйствія нашего духа, производящаго то что мы *видимъ* внѣ насъ находящіеся предметы. То обстоятельство, что различныя точки даютъ свои изображенія на разныхъ пунктахъ ретины обуславливаетъ возможность различенія одной точки отъ другой. Сознаніе что эти точки находятся внѣ насъ и расположены въ разныхъ направленіяхъ и на разныхъ разстояніяхъ достигается совокупностію указаній зрѣнія съ указаніями другихъ чувствъ. Увидать предметъ значитъ, путемъ бессознательнаго соображенія, опредѣлить его мѣсто въ общемъ расположеніи предметовъ. Мы научаемся видѣть постепенно, путемъ длиннаго упражненія во младенчествѣ, повѣряя показанія зрѣнія показаніями другихъ чувствъ, въ особенности осязанія. Въ прежнее время было много теорій чтобъ объяснить почему предметы не кажутся намъ вверхъ ногами, хотя они таковыми рисуются на ретинѣ. Ошибочность сужденій объ этомъ предметѣ происходила отчасти изъ ложнаго представленія будто бы актъ зрѣнія есть какъ бы наблюденіе картинки рисуемой на ретинѣ, подобное наблюденію вообще какого-нибудь рисунка. На самомъ же дѣлѣ мы не разсматриваемъ картинки изображающей на ретинѣ, а на основаніи впечат-

лвий испытываемых ретиной составляемъ, руководствуясь приобретеннымъ опытомъ, представление о томъ гдѣ находятся въ пространствѣ точки, лучи отъ которыхъ дѣйствуютъ на разные мѣста ретины. Опытъ научилъ насъ что, дабы найти вѣ насъ предметъ производящій впечатлѣніе на нижнюю часть ретины, мы должны протянуть руку вверхъ и наоборотъ направить ее внизъ, чтобы найти предметъ дѣйствующій на верхнюю часть ретины. По этой причинѣ мы и не ошибаемся относительно истиннаго расположенія предметовъ. Еслибы было возможно на нѣкоторое время снабдить нашъ глазъ снарядомъ, который представлялъ бы предметы вверхъ ногами, то послѣ нѣкотораго времени мы вѣроятно утратили бы сознаніе обратности изображенія и видѣли бы предметы какъ они есть.

§ 263. Наблюденіе глазомъ оптическихъ изображеній въ плоскомъ зеркалѣ. Изъ § 230 намъ извѣстно что лучи отъ предмета послѣ отраженія отъ плоскаго зеркала идутъ такъ какъ еслибы зеркало было отверстіемъ, сзади котораго стоялъ предметъ геометрически симметричный съ дѣйствительнымъ. Фиг. 342 даетъ понятіе о ходѣ лучей вышедшихъ изъ точекъ A и B и по отраженіи дающихъ внутри глаза изображеніе aq , рисующееся такъ какъ еслибы въ $A'B'$ былъ предметъ прямо доставляющій въ глазъ лучи $A'b$ и Ba . Кажущійся за зеркаломъ образъ $A'B'$ именуется *мнимымъ* или *призрачнымъ* изображеніемъ предмета. Такого рода изображенія не могутъ быть приняты на экранѣ.



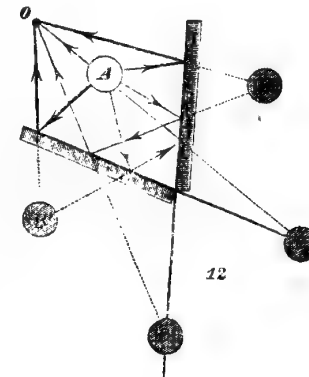
Фиг. 342.

Согласно геометрическому построению, изображение кажется за зеркаломъ на такомъ разстояніи, на какомъ предметъ находится передъ зеркаломъ. Потому, еслибы на мѣстѣ глаза мы поставили собирающее стекло съ экраномъ позади, то экранъ этотъ, дабы получить на немъ ясное изображеніе отдаленныхъ предметовъ отражающихся въ зеркалѣ, надлежало бы поставить въ фокусѣ стекла, то-есть точно такъ какъ еслибы мы пролагали изображеніе самыхъ предметовъ. Отраженный въ плоскомъ зеркалѣ образъ представляетъ предметъ (предполагая его и зеркало стоящими вертикально) въ прямомъ видѣ, но съ перемѣ-

нѣемъ сторонъ правой на мѣсто лввой и наоборотъ. Оттого наблюдатель и его изображеніе въ зеркалѣ отличаются тѣмъ, что все находящееся у предмета на лввой сторонѣ (напримѣръ шпага носимая слѣва) у изображенія будетъ на правой. Художникъ рисующій свой портретъ, пользуясь отраженіемъ въ зеркалѣ, получаетъ рисунокъ не имѣющій надлежащаго сходства съ оригиналомъ. Вслѣдствіе того же перемѣщенія сторонъ, трудно читать печатную страницу, отражая ее въ зеркалѣ, а наборъ легко. Въ горизонтальномъ зеркалѣ вертикальные предметы изображаются вверхъ ногами. Предметы лежащіе горизонтально въ зеркалѣ наклоненномъ подъ угломъ 45° представляются въ вертикальномъ положеніи; лежащій человекъ кажется стоящимъ, причемъ обращаетъ на себя вниманіе нѣкоторая неестественность позы; катящійся отъ зеркала шаръ кажется восходящимъ.

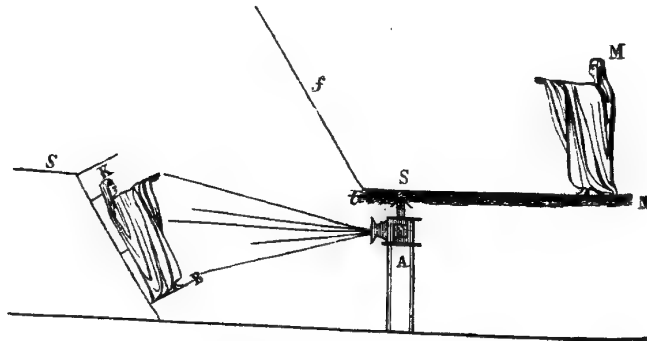
Въ случаѣ двухъ зеркалъ подъ угломъ получается нѣсколько изображеній. Ихъ происхожденіе можно прослѣдить на фиг. 343. Число ихъ зависитъ отъ величины угла. Ихъ будетъ $n-1$ если уголъ составляетъ $\frac{1}{n}$ часть окружности.

Прозрачное плоское стекло также даетъ отраженные изображения, но они мало замѣтны при обыкновенныхъ условіяхъ, потому что, какъ мы видѣли въ § 231, стеклянная поверхность отражаетъ незначительное количество лучей, вслѣдствіе чего отражающееся въ ней изображеніе имѣетъ весьма слабую яркость и теряется въ массѣ свѣта, проходящаго чрезъ зеркало отъ предметовъ сзади его лежащихъ. Если устранить этотъ проходящій свѣтъ, помѣстивъ стекло предъ темнымъ фономъ, то отраженіе становится весьма замѣтно. Въ случаѣ когда отражаемый предметъ ярко освѣщенъ, его изображеніе въ прозрачномъ стеклѣ становится рѣзко замѣтнымъ даже если за стекломъ находятся освѣщенные предметы. На этомъ основываются такъ-называемые *театральные спектры*. Освѣщенный электрическимъ или вообще яркимъ свѣтомъ предметъ KB (фиг. 344), напримѣръ актеръ одѣтый привидѣніемъ, отражается въ большомъ зеркальномъ стеклѣ и кажется зрителю въ положеніи MN . Въ то же время, — такъ какъ стекло f прозрачно, —



Фиг. 343.

зритель видит чрез него лица и предметы находящиеся на сценѣ, между которыми и кажется отраженная фигура.



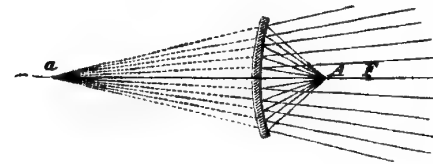
Фиг. 344.

§ 264. Наблюдение глазомъ действительныхъ изображений отъ вогнутого зеркала. Въ § 234 мы говорили объ изображении тамъ гдѣ сходятся въ соответствующіе фокусы пучки лучей доставляемыхъ различными точками свѣтящагося предмета. Если вмѣсто того чтобы принимать изображение на экранѣ, мы помѣстимъ глазъ, на разстояніи яснаго зрѣнія, сзади того мѣста гдѣ рисуется изображение, то увидимъ его въ воздухѣ предъ собою. Это такъ-называемое *воздушное изображение* предмета.

Обыкновенно впрочемъ мы не даемъ себѣ отчета что изображение находится предъ нами на разстояніи яснаго зрѣнія, а пролажаемъ его за зеркало и считаемъ стоящимъ за зеркаломъ какъ за отверстиемъ. Но если у того мѣста гдѣ рисуется изображение поставить действительный предметъ; если, напримеръ, отражая букетъ вѣтвей, помѣщенный предъ зеркаломъ и маскированный отъ глазъ, поставить небольшой горшокъ, такъ что изображение будетъ находиться прямо надъ нимъ, то изображение представится намъ какъ предметъ находящийся въ воздухѣ; вѣтви покажутся выходящими изъ горшка. Переложивъ карту и поставивъ ее въ центрѣ зеркала ниже оси, такъ что изображение загнутой къ зеркалу половины предмета, — помѣстивъ глазъ за картою на разстояніи яснаго зрѣнія, — какъ бы цѣлую карту. Если держа книжалъ остриемъ къ зеркалу нѣсколько далѣе центра, двинемъ его къ зеркалу, то изображение, приближаясь къ наблюдателю произведетъ впечатлѣніе книжала идущаго отъ зеркала. Этотъ опытъ, прола-

женный съ большимъ зеркаломъ Вилета особенно интересовалъ Людовика XIV. Если поставить предъ зеркаломъ стеклянку до половины наполненную водою, заткнутую пробкой и опрокинутую горлушкомъ къ низу, то въ ея изображеніи, которое представится горлышкомъ къ верху, вода будетъ казаться наполняющею нижнюю часть стеклянки, какъ мы привыкли ее обыкновенно видѣть.

§ 265. Минимыя изображенія въ вогнутомъ зеркалѣ. Представимъ себѣ что свѣтящаяся точка *A* (фиг. 345) находится



Фиг. 345.

предъ зеркаломъ на его оси, ближе чѣмъ его главный фокусъ *F*. Еслибъ она была въ самомъ фокусѣ, то лучи отразились бы параллельно оси, и отраженный пучокъ можно было бы разсматривать какъ систему лучей, выходящихъ изъ точки, лежащей на оси за зеркаломъ на *безконечно далеко* разстояніи. Если же точка *A* ближе къ зеркалу чѣмъ фокусъ, то лучи образующіе отраженный пучокъ, удаляясь отъ оси, будутъ расходящимися какъ еслибъ выходили изъ нѣкоторой точки *a* лежащей за зеркаломъ и притомъ тѣмъ далѣе чѣмъ *A* ближе къ фокусу *F*. По мѣрѣ приближенія точки *A* къ зеркалу, приближается къ зеркалу съ другой стороны и изображение *a*.

Разстояніе *f* изображения *a* отъ зеркала, въ случаѣ если разстояніе точки *A* отъ зеркала есть *d*, опредѣляется изъ уравненія

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

Уравненіе это легко вывести, пользуясь приѣмомъ § 233 и принимая въ соображеніе, что въ разсматриваемомъ случаѣ углы *i*, *e*, *A*, *c*, какъ видно на фиг. 346 гдѣ изобра-

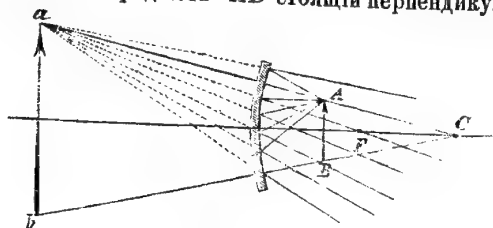


Фиг. 346.

женъ путь одного изъ лучей, выходящихъ изъ точки A и отраженныхъ зеркаломъ, связаны между собою условиемъ

$$i = a + C = A - C \text{ или } A - a = 2C$$

Если предъ зеркаломъ, ближе чѣмъ его фокусъ, находится (фиг. 347) цѣлый предметъ AB стоящій перпендикулярно оси,



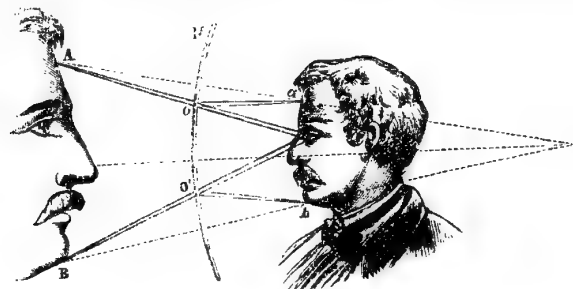
Фиг. 347.

то для каждой его точки A можно найти соответствующее изображение a , проведя побочную CAa и рассуждая относительно ея такъ какъ рассуждаемъ относительно главной оси въ случаѣ точки лежащей на этой послѣдней. Подобнымъ образомъ проведя ось CBb найдемъ точку b , служащую изображеніемъ точки B . Вообще ab будетъ *мнимымъ изображеніемъ* предмета AB . Изъ чертежа видно, что предметъ AB и его мнимое изображение находятся въ одномъ углу aCb , опредѣленнымъ линіями проведенными отъ центра зеркала чрезъ вершину и основаніе предмета. Другими словами: лучи выходящіе изъ предмета, стоящаго предъ вогнутымъ зеркаломъ нѣсколько ближе чѣмъ его фокусъ, по отраженіи принимаютъ такой путь какъ будто бы они выходили изъ нѣкотораго предмета большихъ размѣровъ, стоящаго далеко за отверстиемъ такой величины какъ зеркало. Разстояніе изображенія опредѣляется приведенною выше формулой, его величина угломъ, проведеннымъ изъ центра зеркала.

Изображеніе предмета AB можно, не прибѣгая къ вычисленію, графически построить слѣдующимъ простымъ способомъ. Проведемъ изъ точки A два луча, одинъ проходящій чрезъ центръ зеркала, другой параллельный оси. Первый отразится по тому же направленію какъ пришелъ, второй, по отраженіи, долженъ пройти чрезъ главный фокусъ F . Продолживъ направленіе этихъ двухъ отраженныхъ лучей до пересѣченія найдемъ точку a , которая и будетъ изображеніе точки A . Перпендикуляръ опущенный изъ a на ось и продолженный найдемъ точку b , — изображеніе точки B . Очевидно ab будетъ изображеніе предмета AB .

Фиг. 348 даетъ понятіе о ходѣ лучей въ случаѣ когда въ вогнутомъ зеркалѣ отражается лицо смотрящаго въ него наблюдателя, находящагося отъ зеркала ближе чѣмъ фокусъ. Наблюдатель видитъ свое изображение въ увеличенномъ видѣ

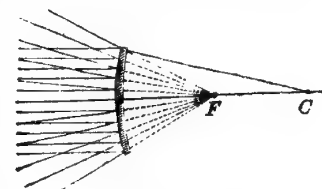
за зеркаломъ на дальнѣйшемъ разстояніи чѣмъ на какомъ самъ находится предъ зеркаломъ. Когда онъ приближается къ



Фиг. 348.

зеркалу, изображение также приближается. Если онъ удаляется, то изображение быстро уходитъ и переносится на безконечное разстояніе когда лицо наблюдателя удалится на разстояніе фокуса. Когда наблюдатель продолжаетъ удаляться, мнимое изображение исчезаетъ, переходя въ дѣйствительное, которое, когда наблюдатель уйдетъ на надлежащее разстояніе, будетъ имъ видимо какъ обратное воздушное изображение: наблюдатель увидитъ себя головою внизъ и можетъ убѣдиться что изображение рисуется предъ зеркаломъ.

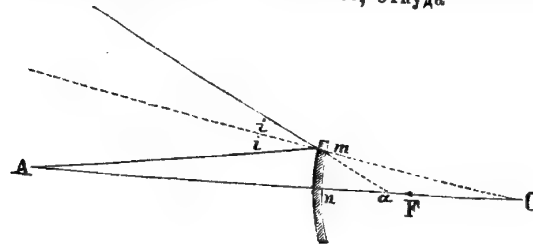
§ 266. Изображенія въ выпукломъ зеркалѣ. Вогнутое зеркало собираетъ лучи, выпуклое ихъ разбрасываетъ. Параллельный оси пучокъ, идущій (фиг. 349) слѣва вправо, по отраженіи, превращается въ пучокъ расходящійся изъ точки F лежащей на половинѣ радіуса зеркала и называемой *главнымъ фокусомъ* зеркала, какъ и въ вогнутомъ зеркалѣ, съ тою разницею что въ рассматриваемомъ случаѣ фокусъ этотъ *мнимый*. Лучи расходящіеся изъ какой-нибудь точки A на оси (одинъ изъ нихъ представленъ на фиг.



Фиг. 349.

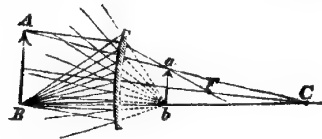
350), по отраженіи, представляютъ пучокъ расходящійся изъ нѣкоторой точки ближе лежащей къ зеркалу чѣмъ фокусъ F . Точка a должна быть ближе точки F , ибо уголъ паденія луча Am на зеркало (больше угла паденія какой образовалъ бы падающій въ той же точкѣ лучъ параллельный оси a ; потому отраженный лучъ, уклоняясь далѣе отъ оси, долженъ пересѣчь ее ближе чѣмъ F .

Не трудно найти, по данному расстоянию d точки A от зеркала, расстояние f мнимого изображения a этой точки. Имеем $i = A + c$; $i = Cma = a - c$ или $a - A = 2c$, откуда



Фиг. 350.

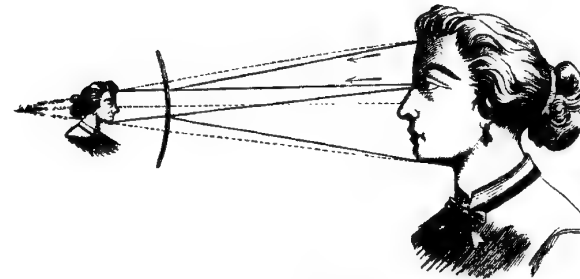
$\frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{2}{R}$. Из этой формулы, зная d , легко определить f . При $d = \infty$, $f = F = \frac{1}{2}R$. Изображение предмета AB (фиг. 351) найдем, проведя из



Фиг. 351.

A два луча, один центральный, падающий перпендикулярно на зеркало и потому отражающийся по тому же направлению как пришел, и другой параллельный оси, по отражении направляющийся так что его направление, будучи продолжено за зеркало, даст точку a — изображение точки A . Проведя из центра C лини CA и CB найдем угол, в котором должно помещаться все изображение предмета AB , которое следовательно и будет ab . На той же фиг. 351 можно проследить путь всего пучка лучей, выходящих из точки B и по отражении идущих так как будто бы выходили из точки b . Изображение ab меньше предмета AB и находится за зеркалом ближе половины его радиуса. Фиг. 352 дает понятие о том как отражается

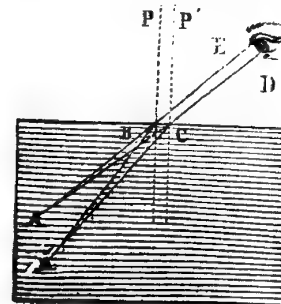
въ выпукломъ зеркалѣ лицо наблюдателя. Вообще выпуклое зеркало дѣйствуетъ такъ какъ еслибъ оно было отверстіемъ



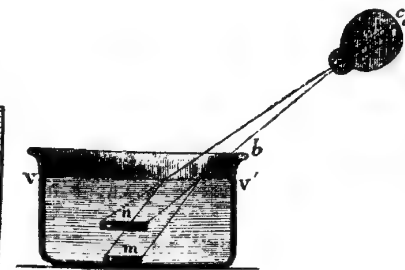
Фиг. 352.

за которымъ, ближе половины его радиуса, стоитъ маленький предметъ. Близорукий можетъ въ выпукломъ зеркалѣ ясно видѣть отдаленные предметы, ибо они рисуются близко отъ поверхности зеркала. Въ каплѣ ртути, поверхность которой представляетъ собою сильно выпуклое зеркало, можно разсматривать отраженный ландшафтъ даже подъ микроскопомъ. Стекланный шаръ амальгамированный внутри представляетъ такепримѣръ выпуклаго зеркала.

§ 267. Зрѣніе чрезъ преломляющую поверхность. Представимъ себѣ точку A , помещенную (фиг. 353) подъ горизонтальною поверхностью воды или иной прозрачной жидкости. Лучъ AC и сосѣдній съ нимъ AB по преломленіи приметь направление CE и BD , и такъ какъ уголъ PBE менѣе угла $P'CD$, то лучи эти будутъ расходиться, имѣя пересѣченіе въ точкѣ A' . Вообще пучокъ BAC по преломленіи представитъ собою пучокъ $BA'C$

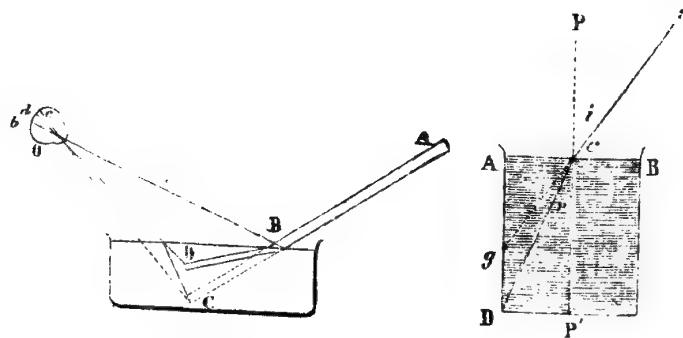


Фиг. 353.



Фиг. 354.

как бы выходящий из точки A' выше лежащей чем точка A . Глаз, принимающий этот пучок увидит следовательно в A' изображение предмета лежащего в A . Изображение будет мнимое. Так, монета, помещенная на дне сосуда, кажется (фиг. 354) выше своего места; самое дно представляется выгнутым. Палка опущенная концом в воду представляется (фиг. 355) переломленной, ибо конец C , вследствие преломления, кажется в D .



Фиг. 355.

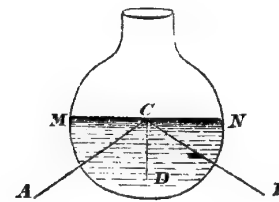
Фиг. 356.

Снеллий, по свидетельству Гюгенса, самый закон преломления вывести, наблюдая кажущееся повышение предмета находящегося под водою. Пусть AB (фиг. 356) есть сосуд; если в нем нить воды, то глаз, смотря по направлению Sc , увидит точку g вертикальной стѣнки AD . Можно измерить расстояние sg . Налейте воды до уровня AB . Смотри опять по направлению Sc , глаз увидит в этом направлении уже не точку g , а какую-нибудь точку D ниже лежащую. Расстояние CD может быть какъ 4 къ 3, и что такое отношение имеетъ место при всякомъ углѣ паденія i . Но CD относится *) къ sg какъ синусъ угла sgD къ синусу угла $Agc = i$ (углѣ паденія) къ синусу угла $gDc = r$ (углѣ преломленія). Следовательно, синусъ угла паденія къ синусу угла преломленія находится въ постоянномъ отношеніи. Впрочемъ Снеллій не думалъ объ отношеніи синусовъ и полагалъ что въ этомъ опытѣ дѣло идетъ исключительно о кажущемся мѣстѣ видимой точки, такъ что даже при перпендикулярномъ паденіи усматривалъ дѣйствіе преломленія и укороче- ченія луча. Декартъ, не упоминая объ опытахъ Снеллія, которые могутъ быть и не были ему извѣстны, выразилъ законъ преломленія въ нѣмнѣ употребляемой формѣ.

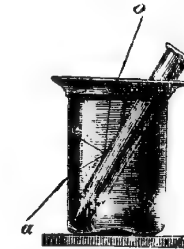
*) Изъ треугольника gCD по теоремѣ: стороны относятся какъ синусы противоположныхъ угловъ.

§ 268. Нѣсколько случаевъ полного внутренняго отраженія наблюдаемыхъ глазомъ. Въ случаѣ если уголъ ACD (фиг. 357) болѣе предѣла преломленія, лучъ AC при поверхности воды въ сосудѣ претерпитъ полное отраженіе, и глазъ помѣщенный въ B увидитъ предметы находящіеся при A отраженными въ нижней сторонѣ поверхности MN какъ въ весьма совершенномъ зеркалѣ.

Если опустить въ сосудъ съ водою запаяннымъ концомъ трубку и смотрѣть на нее отъ точки o (фиг. 358), то поверх-



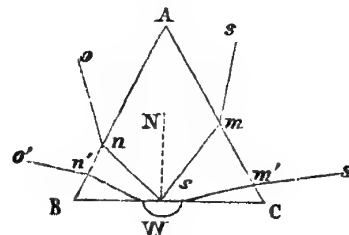
Фиг. 357.



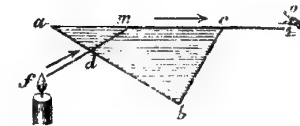
Фиг. 358.

ность ея представится, вследствие полного отраженія, ярко зеркальною, какъ будто бы трубка была наполнена ртутью. Если налить въ трубку воды то явленіе исчезаетъ.

Помѣщая глазъ надъ стороною BC (фиг. 359) призмы, наблюдатель получаетъ лучи, отраженные отъ поверхности BC и если уголъ паденія msN луча превышаетъ предѣлъ преломленія, то сторона BC будетъ играть роль зеркала ярко отражающаго предметы находящіеся при S . Но если при s помѣстить каплю воды W , то полное отраженіе прекратится, и капля будетъ замѣтна вследствие лучей нашедшихъ доступъ снизу при



Фиг. 359.

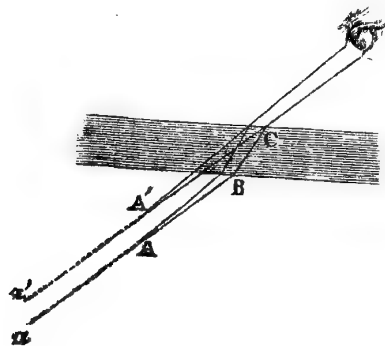


Фиг. 360.

точка s въ призму. Но опустивъ глазъ ниже, напримѣръ въ o' , достигнемъ момента когда капля исчезнетъ вслѣдствіе наступившаго полного отраженія въ мѣстѣ прикосновенія воды и стекла. Моментъ этотъ наступитъ позже, если вмѣсто воды взять (болѣе чѣмъ вода преломляющую) каплю чернилъ. Когда чернила высохнутъ и при s отложится сухой слой, содержащій металлическія частицы, то полного отраженія нельзя совсѣмъ будетъ достигнуть, и пятно останется видимымъ при всякомъ положеніи глаза.

Наступленіе момента перехода отъ преломленія къ полному внутреннему отраженію удобно можно наблюдать покрывъ стороны ab и bc призмы (фиг. 360) черною бумагой и оставивъ при d небольшое отверстіе. Помѣщая призму такъ чтобы глазъ получилъ выходящій лучъ по направленію непокрытой стороны ac . Лучъ идущій по самой поверхности имѣетъ особенную яркость.

§ 269. Зрѣніе чрезъ слой ограниченный параллельными стѣнками. Изъ § 246 намъ извѣстно что лучъ, по преломленіи въ слой однообразной толщины, выходитъ параллельно начальному направленію. Построивъ на основаніи этого начала путь узкаго пучка лучей выходящихъ изъ точки A и достигающихъ глаза (фиг. 361), убѣдимся что пучокъ будетъ имѣть



Фиг. 361.

такое направленіе какъ еслибъ онъ выходилъ изъ точки A' , отстоящей отъ A менѣе чѣмъ на толщину слоя. Другими сло-

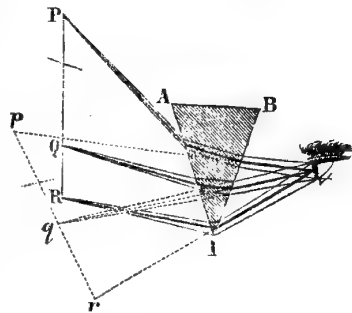
вами, предметъ видимый чрезъ слой съ параллельными стѣнками кажется передвинутымъ въ сторону отъ своего настоящаго мѣста на разстояніе меньшее толщины слоя. Уклоненіе это тѣмъ незначительнѣе чѣмъ менѣе слой наклоненъ къ линіи соединяющей глазъ съ предметомъ; уклоненія нѣтъ когда слой къ этой линіи перпендикуляренъ, когда слѣдовательно центральный лучъ пучка проходитъ безъ преломленія. Далѣе, не трудно видѣть что оптическое перемѣщеніе предмета не зависитъ отъ разстоянія на какомъ онъ находится, и будетъ ли точка A близко отъ слоя или далеко отъ него, разстояніе изображенія A' отъ предмета A всегда менѣе толщины слоя; менѣе, напримѣръ, дюйма если слой имѣетъ такую толщину. Потому перемѣщеніе это замѣтно для глаза только если наблюдаемый предметъ находится близко. Такъ, если чрезъ стеклянную дощечку, поставивъ ее наклонно къ лучу зрѣнія, смотрѣть на вертикальную линію, то, если линія близко, часть ея видимая чрезъ стекло покажется отклоненною сравнительно съ частями видимыми прямо, но если линія эта далеко, стекло не произведетъ замѣтнаго уклоненія. Оконныя стекла представляютъ предметы на своихъ мѣстахъ.

Доказательство что лучъ по преломленіи въ слой съ параллельными стѣнками выходитъ параллельно начальному направленію основывается (§ 246) на допущеніи что показатель преломленія при выходѣ изъ слоя въ воздухъ есть $1/n$. Можно наоборотъ начать размышленіе съ того факта, что отдаленный предметъ не перемѣщается замѣтно, когда смотрѣть на него чрезъ слой съ параллельными стѣнками. Фактъ этотъ прямо свидѣтельствуетъ о параллельности выходящаго луча съ падающимъ, а отсюда, какъ слѣдствіе, выходитъ что показатель при переходѣ изъ среды въ воздухъ долженъ быть $= 1/n$.

Если имѣемъ нѣсколько слоевъ разной преломляемости, по съ параллельными стѣнками, то и въ такомъ случаѣ отдаленный предметъ не перемѣщается замѣтно. Этотъ опытъ имѣетъ важное значеніе, ибо изъ него слѣдуетъ что и въ этомъ случаѣ лучъ выходящій параллеленъ падающему, — положеніе на которомъ, какъ мы видѣли въ § 247, основывается выводъ *относительнаго показателя* преломленія луча, при переходѣ изъ одной преломляющей среды въ другую.

§ 270. Зрѣніе чрезъ призму. Въ § 248 мы видѣли что призма отклоняетъ проходящій чрезъ нее лучъ къ основанію, то есть къ своему болѣе толстому концу. Потому если, какъ на фиг. 362, глазъ наблюдаетъ предметъ PK чрезъ призму поставленную угломъ внизъ, то пучки лучей, приходящіе въ глазъ отъ разныхъ точекъ предмета направляются такъ, какъ еслибы выходили отъ предмета pr лежащаго *ниже* дѣйствительнаго

предмета *РР*. Таким образом предметы видимые чрез призму кажутся перемещенными къ ея вершинѣ. При этомъ видимая величина предмета по направленію длины (то-есть по направленію отъ основанія къ ребру призмы) нѣсколько измѣняется. Части ниже точки имѣющей наименьшее отклоненіе, нѣсколько расширяются въ размѣрахъ, выше нѣсколько сокращаются (это удобно замѣтить избравъ предметъ наблюденія страницу книги). Поперечные размѣры остаются безъ перемѣны. Кроме того въ продолжномъ направленіи всѣ границы между темными и свѣтлыми частями представляются въ видѣ радужныхъ воймъ. О происхожденіи этихъ воймъ будемъ говорить ниже.



Фиг. 362.

§ 271. Зрѣніе чрезъ собирающее стекло. Наблюденіе дѣйствительныхъ изображеній. Мы знаемъ что собирающее стекло даетъ у своего фокуса обратное изображение отдаленныхъ предметовъ, которое можетъ быть принято на экранѣ (§ 250). Такъ если поставимъ стекло на нѣкоторомъ разстояніи отъ окна въ комнатѣ, которой другія окна прикрыты, и сзади стекла помѣстимъ въ надлежащемъ разстояніи экранъ, то изображение окна нарисуетъ на экранѣ. Поставимъ глазъ сзади экрана (предполагая его просвѣчивающимъ) на разстояніи яснаго зрѣнія и будемъ разсматривать изображение. Опытъ показываетъ что мы будемъ продолжать видѣть изображение если и удалимъ экранъ. Изображеніе рисуется въ воздухѣ: *воздушное изображение* (какъ въ случаѣ вогнутого зеркала). Обыкновенно, впрочемъ, и въ этомъ случаѣ мы не даемъ себѣ отчета что изображение находится предъ стекломъ, а представляемъ его себѣ за стекломъ какъ за отверстіемъ.

Послѣднее обстоятельство имѣетъ вліяніе на невольное су-

жденіе о величинѣ наблюдаемаго изображенія. Когда экранъ снятъ, то изображение кажется намъ *значительно больше* чѣмъ какимъ казалось когда рисовалось на экранѣ. Между тѣмъ рисунокъ на ретинѣ остается той же величины въ обоихъ случаяхъ. Дѣло въ томъ, что когда изображение рисуется на экранѣ, мы представляемъ его себѣ близко отъ глаза—тамъ, гдѣ стоитъ экранъ. Но когда мы наблюдаемъ воздушное изображение, то не имѣемъ данныхъ для опредѣленія его разстоянія и, естественно, воображаемъ его не предъ стекломъ, а сзади стекла, представляющагося намъ какъ отверстіе, чрезъ которое мы смотримъ. А такъ какъ предметъ болѣе удаленный долженъ быть, — чтобы дать на ретинѣ изображение одинаковой величины.—болѣе близкаго, то мы и считаемъ изображение окна, представляющагося глазу безъ экрана, большимъ чѣмъ въ томъ случаѣ, когда оно рисуется на экранѣ и когда мы сознаемъ его близость и присутствіе *передъ* стекломъ, а не гдѣ-нибудь вдали за стекломъ. Почти излишне говорить, что точно такое же явленіе можно наблюдать съ вогнутымъ зеркаломъ. Явленіе тѣмъ рѣзче, чѣмъ глазъ ближе къ мѣсту изображенія. Опытъ удобно производить со стекломъ изъ числа тѣхъ, какія употребляются для оптическихъ приложеній при опытахъ съ электрическимъ фонаремъ Дюбоска *).

* Вообще при опредѣленіи *кажущейся* величины предмета мы руководимся не только *угломъ зрѣнія*, подъ которымъ онъ представляется,—то-есть угломъ образуемымъ линіями проведенными изъ оптическаго центра глаза къ вершинѣ и основанію предмета,—но и тѣмъ на какомъ разстояніи воображаемъ видимое.

Любопытный приѣмъ обманчиваго сужденія о величинѣ предмета представляетъ луна какъ она кажется при горизонтѣ и ближе къ зениту. При горизонтѣ она кажется большимъ свѣтлымъ шаромъ; шаръ этотъ замѣтно сокращается въ размѣрахъ по мѣрѣ приближенія къ зениту, несмотря на то что изображение луны рисуется на ретинѣ когда она при горизонтѣ даже меньше чѣмъ когда она ближе къ зениту. Явленіе находится въ ближайшей связи съ зрѣлищемъ всего небснаго свода, который кажется намъ не сферическимъ, а значительно сплюснутымъ, вслѣдствіе чего части свода, соответствующія тому же углу зрѣнія, при горизонтѣ кажутся значительно больше чѣмъ при зенитѣ. Наконецъ въ оцѣнкѣ кажущейся величины иногда руководитъ сравненіе. Муштина въ женскомъ платьѣ кажется высокою женщиной, женщина въ мужскомъ костюмѣ кажется малаго роста. Средній ростъ мужчины болѣе средняго роста женщины. Видя мужчину одѣтаго въ женское платье, мы нѣсколько сравниваемъ его ростъ съ ростомъ женщины, а между женщинами существо такого роста, какъ даже невысокій мужчина, не будетъ въ числѣ низкорослыхъ. Наоборотъ, въ средѣ мужчинъ, существо средняго женскаго роста станетъ въ рядъ мальчиковъ.

Сравним *угол зрѣнія* подѣ какимъ представляется воздушное изображеніе съ *угломъ зрѣнія* подѣ какимъ самый предметъ представляется простому глазу. Первый уголъ есть



Фиг. 363.

aOb . Уголъ подѣ которымъ глазъ, съ того мѣста гдѣ находится, видѣлъ бы прямо предметъ, еслибы стекла не было, можно считать равнымъ углу ACB (образованному линіями проведенными отъ центра стекла къ вершинѣ и основанію предмета), такъ какъ предметъ находится далеко и потому точки C и O можно считать почти на равномъ отъ него разстояніи. Но уголъ $ACB = aCb$ имѣетъ свою мѣру (§ 233 фиг., 289) дугу описанную изъ C радіусомъ равнымъ единицѣ и величина которой есть $\frac{ab}{aC}$. Мѣра угла aOb есть $\frac{ab}{aO}$. Слѣдовательно отношеніе этихъ угловъ, то-есть число выражающее во сколько разъ уголъ aOb подѣ которымъ мы видимъ изображеніе болѣе или менѣе угла ACB , подѣ которымъ видимъ предметъ прямо глазомъ, и называемое *увеличеніемъ*, будетъ

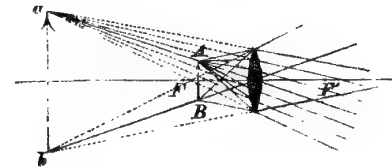
$$aOb : ACB = \frac{ab}{aO} : \frac{ab}{aC} = aC : aO$$

Но aC можно принять равнымъ фокусному разстоянію стекла, Oa есть разстояніе яснаго зрѣнія. Слѣдовательно *увеличеніе* G , при наблюденіи вмѣсто предмета его дѣйствительнаго оптическаго изображенія, есть $G = \frac{F}{\Delta}$, гдѣ F фокусное разстояніе стекла, Δ разстояніе яснаго зрѣнія или вообще разстояніе глаза отъ изображенія. Если $F < \Delta$, то G есть дробь, и слѣдовательно изображеніе представится въ уменьшенномъ видѣ сравнительно съ предметомъ. Заразъ обозрѣваемое чрезъ стекло пространство или *поле зрѣнія* въ этомъ случаѣ болѣе чѣмъ еслибы вмѣсто стекла было предѣ нами отверстіе. Оно меньше если стекло дѣйствуетъ увеличительно.

Если помѣстимъ глазъ ближе къ изображенію чѣмъ разстояніе яснаго зрѣнія, то уголъ зрѣнія увеличится, но ясность утратится, такъ какъ рисунокъ на ретинѣ будетъ неотчетливъ. Онъ былъ бы отчетливъ еслибы можно было увеличить преломляющую силу глаза и тѣмъ укоротить разстояніе яснаго зрѣнія. Этого можно достигнуть если поставить передъ глазомъ еще собирающее стекло. На этомъ основывается теорія зрительной трубки какъ увидимъ ниже.

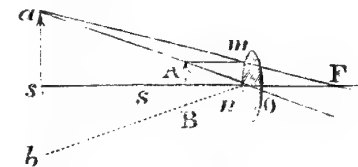
Если, наконецъ, поставимъ глазъ ближе къ стеклу чѣмъ самое изображеніе ab , то лучи будутъ вступать въ глазъ сходящимися, и слѣдовательно зрѣніе будетъ не ясное. Въ моментъ прохожденія чрезъ самый фокусъ глазъ совѣмъ не различаетъ очертаній предмета, и въ случаѣ, напримѣръ, свѣчи все отверстіе стекла представляется равномерно ярко освѣщеннымъ. Чтобы возстановить ясность зрѣнія въ сходящихся лучахъ, надо непосредственно предѣ глазомъ поставить разсѣвающее стекло. Въ этомъ основаніе теоріи театральнаго или Галилеевой трубки.

§ 272. Употребленіе собирающаго стекла въ качествѣ увеличительнаго. Луна и простой микроскопъ. Пусть предѣ стекломъ ближе чѣмъ его главное фокусное разстояніе находится предметъ AB (фиг. 364). Прове-



Фиг. 364.

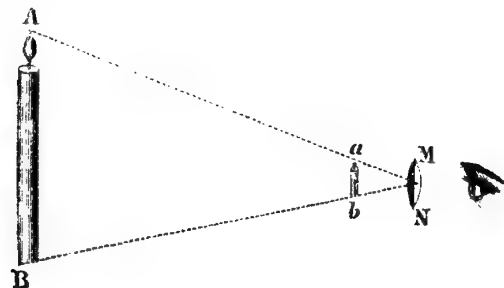
демъ отъ точки A два луча, которые для ясности чертежа изобразимъ на отдѣльной фигурѣ (фиг. 365),—одинъ



Фиг. 365.

параллельный оси, другой направленный къ оптическому центру стекла. Послѣдній пройдетъ не преломляясь; первый же, по преломленіи, направится къ фокусу F ; точка пересѣченія этихъ лучей a будетъ мнимымъ изображеніемъ точки A . Лучи вышедшіе изъ

точки A по преломленіи примуть такой путь какъ еслибы выходили изъ точки a далѣе отстоящей отъ стекла чѣмъ точка A . Вообще ab будетъ изображеніемъ AB и зрѣлище будетъ таково какъ еслибы, въ-сто стекла, было отверстіе чрезъ которое мы смотрѣли бы на большой предметъ ab ; вѣсто малой свѣчи (фиг. 366) стояла бы большая свѣча AB . Та-



Фиг. 366.

кимъ образомъ стекло кажущимся образомъ удаляетъ предметъ увеличивая его размѣры (подобно вогнутому зеркалу въ случаѣ когда предметъ ближе фокуса). Разстояніе на которомъ кажется изображеніе тѣмъ больше чѣмъ предметъ ближе къ фокусу. Когда онъ въ самомъ фокусѣ, то изображеніе какъ бы уходитъ на безконечное разстояніе.

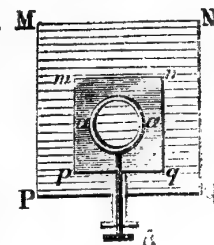
Чтобы найти разстояніе f , на которомъ представляется изображеніе, когда предметъ помѣщенъ на разстояніи d отъ стекла, обратимся къ фиг. 365. Изъ тригольниковъ asO и ASO имѣемъ $as : AS = sO : SO = f : d$; изъ тригольниковъ asF и mnF , обративъ вниманіе что $AS = mn$ получаемъ $as : mn = as : AS = d + F : F$; слѣд. $f : d = d + F : F$, откуда $\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ формула позволяющая опредѣлить f , если извѣстны d и фокусное разстояніе F стекла.

Опредѣлить увеличеніе стекла въ данномъ случаѣ значитъ найти отношеніе угла зрѣнія, подъ которымъ предметъ представляется чрезъ стекло къ углу зрѣнія, подъ которымъ мы его

видимъ простымъ глазомъ. Въ послѣднемъ случаѣ мы не можемъ помѣстить предметъ такъ близко какъ въ случаѣ когда смотримъ чрезъ стекло, ибо зрѣніе было бы не ясно, но удаляемъ его на разстояніе яснаго зрѣнія. Мѣрою угла зрѣнія будетъ въ такомъ случаѣ величина $\frac{ab}{\Delta}$, гдѣ ab величина предмета, Δ разстояніе яснаго зрѣнія. Мѣра угла зрѣнія при наблюденіи чрезъ стекло есть $\frac{ab}{d}$, гдѣ ab величина предмета, d разстояніе предмета отъ стекла. Это разстояніе, въ случаѣ если изображеніе откинута стекломъ на значительное разстояніе (глазъ слѣдовательно приспособленъ къ зрѣнію отдаленныхъ предметовъ), можно считать мало рознящимся отъ фокуснаго разстоянія стекла F . Итакъ увеличеніе будетъ $G = \frac{ab}{d} : \frac{ab}{\Delta} = \frac{\Delta}{d} = \frac{\Delta}{F}$, то-есть равно разстоянію яснаго зрѣнія наблюдателя дѣленному на фокусное разстояніе стекла.

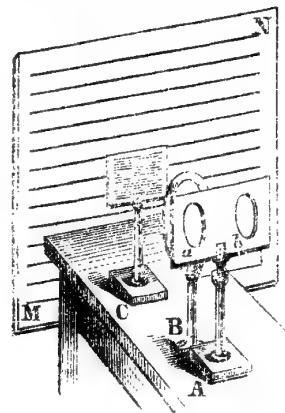
Собирающее стекло съ короткимъ фокусомъ, употребляемое для разсматриванія мелкихъ предметовъ въ увеличенномъ видѣ именуется *луною*, а если фокусъ весьма коротокъ — *простымъ микроскопомъ*. Стекланный шарикъ наполненный водою или иною преломляющею жидкостью, капля воды положенная на маленькую дырочку, сдѣланную иглою въ древесномъ листѣ или въ иной тонкой пластинѣ, — простѣйшіе примѣры микроскопа.

§ 273. Кажущееся увеличеніе наблюдаемаго чрезъ стекло предмета, при удаленіи глаза. Если, не сдвигая ни стекла, ни разсматриваемаго чрезъ него предмета, наблюдатель станетъ удалять свой глазъ отъ стекла, то предметъ будетъ *видимо рости*. Между тѣмъ это рѣзкое увеличеніе предмета въ нѣсколько разъ есть только обманъ сужденія, и на самомъ дѣлѣ, величина рисунка на ретинѣ даже уменьшается по мѣрѣ удаленія нашего отъ стекла. Въ этомъ не трудно убѣдиться изъ слѣдующихъ опытовъ. Сзади стекла aa (фиг. 367), нѣсколько ближе его фокуснаго разстоянія, помѣстимъ небольшой картонный экранъ $mnpq$ на которомъ начерченъ рядъ горизонтальныхъ линій, раздѣленныхъ равными промежутками. Промежутки и линіи, повидимому, сильно расширятся при удаленіи глаза. Но поставимъ сзади этого первого экрана второй большой $MNPQ$. Помѣстимъ его именно въ томъ разстояніи, на какомъ согласно съ предыдущей теоріей, *кажется* видимая чрезъ стекло часть экрана $mnpq$



Фиг. 367.

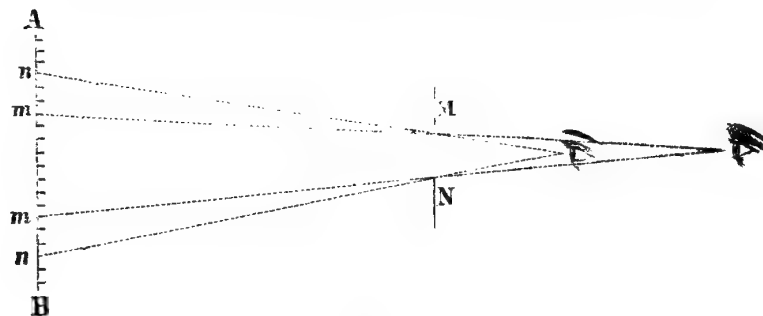
Вместѣ съ тѣмъ допустимъ, что начерченные на большомъ экранѣ линіи раздѣлены промежутками такой величины, какой кажутся видимые чрезъ стекло промежутки первого экрана. (Разстояніе экрана $MNPQ$ и величину его промежутковъ легко опредѣлить вычисленіемъ, которое можно оправдать особымъ испытаніемъ). Въ такомъ случаѣ видимая чрезъ стекло часть экрана $mnpq$ и видимые прямо края экрана $MNPQ$ будутъ имѣть совершенно одинаковый видъ; и если одна изъ чертъ видимыхъ въ стеклѣ совпадаетъ съ направленіемъ какой-либо изъ чертъ большаго экрана, то и всѣ другія черты будутъ совпадать съ соответствующими чертами большаго экрана. Опытъ показываетъ, что это совпаденіе будетъ сохраняться и въ томъ случаѣ, когда мы будемъ удаляться отъ стекла. Вместѣ съ тѣмъ мы замѣтимъ, что число чертъ, помѣщаемыхъ въ отверстіи стекла, будетъ уменьшаться. Фиг. 368 изображаетъ тотъ же опытъ, въ нѣсколько иной, еще болѣе наглядной формѣ. Въ картонѣ, помѣщенномъ на стойкѣ A , сдѣланы два отверстія; сзади одного изъ нихъ помѣщена стойка B съ увеличительнымъ стекломъ и стойка C съ небольшимъ экраномъ, на которомъ начерченъ рядъ линій. Сзади втораго отверстія поставленъ, на разстояніи указанномъ вычисленіемъ, большой экранъ, подобный описанному въ предыдущемъ опытѣ. Если экраны расположены правильно, то зрѣлище, какое представятъ глазу наблюдателя оба отверстія, будетъ совершенно одинаково и останется одинаковымъ и при удаленіи глаза. Черты будутъ совпадать и промежутки, видимые чрезъ отверстіе безъ стекла, будутъ казаться точно также увеличивающимися какъ и видимые чрезъ отверстіе со стекломъ.



Фиг. 368.

Легко понять, почему, при удаленіи глаза, предметъ, на который мы смотримъ чрезъ стекло или что все равно, чрезъ отверстіе, кажется увеличивающимся. Когда (фиг. 369) глазъ находится близко къ отверстію, за которымъ стоитъ предметъ AB (въ нашемъ случаѣ экранъ $MNPQ$), то въ полѣ зрѣнія, видимомъ въ отверстіи, находятся, напримѣръ, 14 промежутковъ. Но когда глазъ удалится, то въ томъ же полѣ зрѣнія мы будемъ видѣть только восемь, пять и т. д., промежутковъ. Не давая себѣ отчета о разстояніи, на которомъ экранъ по-

мѣщенъ за отверстіемъ, наблюдатель невольно судитъ о величинѣ промежутковъ по тому числу ихъ, какое помѣщается въ разныхъ случаяхъ въ томъ же полѣ зрѣнія. Ихъ величина

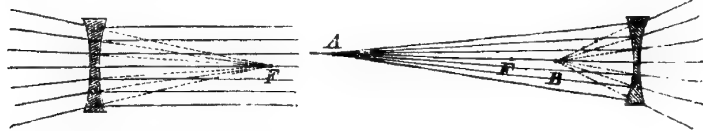


Фиг. 369.

ему кажется больше, когда онъ видитъ меньшее число ихъ въ томъ же пространствѣ. Не только экранъ съ чертами, но вообще всякій предметъ, рассматриваемый чрезъ отверстіе, отъ котораго мы удаляемся, кажется увеличивающимся, хотя впрочемъ не во всѣхъ случаяхъ это обнаруживается одинаково, ибо при наблюденіи чрезъ отверстіе мы всегда имѣемъ болѣе, чѣмъ въ случаѣ стекла, обстоятельствъ позволяющихъ судить объ истинномъ разстояніи предметовъ и отчасти ослабляющихъ описанный обманъ зрѣнія. Любопытенъ случай съ книгою. Когда мы смотримъ чрезъ отверстіе на строки книги, помѣщенной не далеко за этимъ отверстіемъ, и удаляемся отъ него, то въ первое время (когда еще можемъ читать) буквы кажутся замѣтно уменьшающимися, но потомъ, когда зрѣніе перестаетъ быть яснымъ и мы не можемъ болѣе читать, строки и разстоянія между ними кажутся растущими, какъ черты и промежутки въ случаѣ экрана. Пока мы можемъ еще читать, то мы судимъ о разстояніи книги и величинѣ буквъ по большей или меньшей трудности чтенія, но далѣе употребляемъ то же сужденіе какъ въ случаѣ экрана.

§ 274. Зрѣніе чрезъ разсѣивающее стекло. Пучокъ параллельныхъ осей лучей (фиг. 370), преломившись въ разсѣивающемъ стеклѣ, превращается въ пучокъ расходящийся, вершина котораго F именуется фокусомъ разсѣивающаго стекла. Фокусъ этотъ мнимый или призрачный. Лучи выходящіе изъ точки A лежащей на оси (фиг. 371), по преломленіи въ разсѣивающемъ

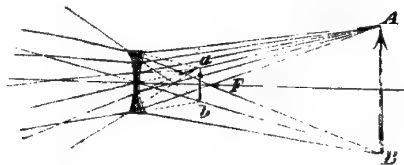
стекла образуютъ расходящійся пучокъ, вершина котораго B ближе къ стеклу чѣмъ фокусъ F . Наконецъ.



Фиг. 370.

Фиг. 371.

если передъ стекломъ находится (фиг. 372) отдаленный предметъ AB , то каждая точка его даетъ свой пучокъ,



Фиг. 372.

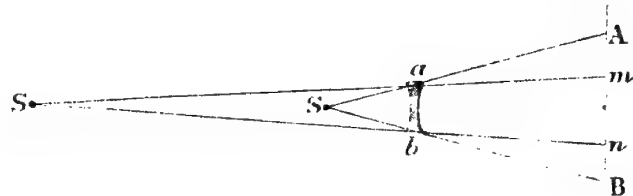
который, по преломленіи, превращается въ пучокъ, имѣющій вершину въ точкѣ ближе къ зеркалу лежащей. Такимъ образомъ точка A даетъ свое изображеніе въ a , точка B въ b и вообще ab будетъ изображеніе предмета AB . Изображеніе ближе къ зеркалу чѣмъ фокусъ F (оно будетъ въ самомъ фокусѣ если предметъ находится на бесконечно далекомъ разстояніи). Величина изображенія опредѣляется угломъ, образуемымъ линіями проведенными отъ середины или, точнѣе, отъ оптическаго центра стекла къ вершинѣ и основанію предмета. Оно значительно меньше предмета. Такимъ образомъ если мы помѣстимъ глазъ предъ стекломъ и будемъ чрезъ него смотрѣть на предметъ AB , то вмѣсто предмета увидимъ его маленькое изображеніе ab , стоящее близко за стекломъ. Разсѣивающее стекло подобно вогнутому зеркалу какъ бы приближаетъ предметъ, уменьшая его въ размѣрахъ.

Чтобы построить мѣсто изображенія, достаточно отъ какой-либо точки предмета (не говоримъ отъ крайней точки потому что въ случаѣ если величина предмета болѣе величины сте-

кла, отъ крайней точки нельзя провести къ стеклу лучъ параллельный оси)—провести два луча, одинъ параллельно оси, другой направленный къ оптическому центру C . Первый по преломленіи приметъ путь проходящій чрезъ фокусъ, второй пройдетъ, не преломляясь. Ихъ точка пересѣченія и будетъ изображеніемъ избранной точки. Не трудно вывести что

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{1}{F}.$$

Чтобы опредѣлить величину фокуснаго разстоянія разсѣивающаго стекла можно поступить такъ. Поставимъ стекло на разстояніи Δ отъ стѣны или экрана, помѣстимъ предъ нимъ на разстояніи d свѣчу. Лучи свѣчи прошедшіе у контуровъ стекла проложатъ (фиг. 373) на экранѣ его тѣнь mn , лучи же прошедшіе чрезъ стекло выйдутъ изъ него, такъ какъ если предъ нимъ на маломъ разстояніи f стояла маленькая свѣча, лучи которой

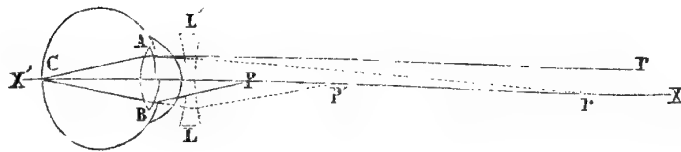


Фиг. 373.

идутъ чрезъ стекло какъ чрезъ отверстіе. Они дадутъ на экранѣ слабо освѣщенный, но во всякомъ случаѣ достаточно замѣтный кругъ AB , выступающій за контуръ тѣни. Отношеніе діаметра свѣтлаго круга къ діаметру стекла не трудно измѣрить. Но $AB : ab = (\Delta + f) : f$, откуда опредѣлимъ f . Зная, кромѣ того, d , то-есть разстояніе свѣчи отъ стекла, изъ предыдущей формулы найдемъ F .

§ 275. Употребленіе собирающаго и разсѣивающаго стекла въ качествѣ очковъ. Въ случаѣ близорукаго глаза употребляютъ очки изъ вогнутыхъ или разсѣивающихъ стеколъ. Близорукій глазъ не видитъ ясно отдаленныхъ предметовъ (§ 255): его punctum remotum (то-есть дальнѣйшій пунктъ яснаго зрѣнія безъ приспособленія) находится отъ него на близкомъ разстояніи, которое назовемъ d . Если помѣстимъ предъ глазомъ разсѣивающее стекло, котораго фокусное разстояніе есть δ , то оно поставитъ предъ глазомъ на этомъ именномъ разстояніи изображеніе отдаленныхъ предметовъ, которое и будетъ видимо отчетливо, такъ будетъ какъ находится на разстояніи яснаго зрѣнія. Другими словами, лучи идущіе изъ въкоторой отдаленной точки, параллельно, наиримѣрь, оси (фиг. 370) по преломленіи въ стеклѣ LL' принимаютъ такой путь какъ еслибы выходили изъ точки r , лежащей на разстояніи яснаго

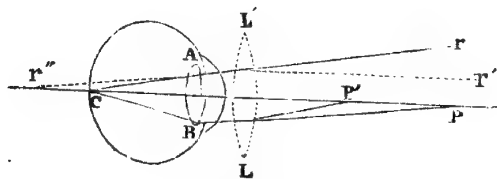
зрѣнія отъ глаза и потому соединяются на ретинѣ. Еслибы стекла не было они соединились бы предъ ретиною; стекло,



Фиг. 374.

ослабляя преломляющую силу глаза, удалить изображение до ретины. Мы говоримъ о близорукостѣ глазъ безъ приспособленія. Съ приспособленіемъ глазъ этотъ можетъ видѣть ясно предметы между *punctum remotum* и *punctum proximum*, изъ коихъ послѣдній находится близко отъ глаза, напримѣръ въ *P*. Разсѣивающее стекло помѣститъ въ этомъ пунктѣ изображение болѣе удаленной точки *P'*, другими словами увеличитъ расстояние *punctum proximum*. Книгу, напримѣръ, читающій въ очкахъ поставитъ дальше отъ себя, чѣмъ какъ еслибы очки были сняты. Такимъ образомъ для близорукаго очки имѣютъ назначеніе сдѣлать возможнымъ наблюденіе отдаленныхъ предметовъ; для наблюденія близкихъ предметовъ очки особеннаго значенія не имѣютъ.

Въ случаѣ глаза, для котораго *punctum proximum* находится слишкомъ далеко (когда напримѣръ приспособленіе дѣйствуетъ слабо) употребляются въ качествѣ очковъ собирающія стекла. Такое стекло, поставленное предъ глазомъ смотрящимъ на близкій предметъ, напримѣръ на буквы книги, какъ бы удалитъ его, давая изображение на разстояніи болѣе значительномъ (§ 999) чѣмъ разстояніе самаго предмета. Дальновзоркій наблюдатель, который безъ стекла долженъ бы былъ держать книгу въ *P*, на разстояніи превышающемъ нормальное разстояніе яснаго зрѣнія, со стекломъ (фиг. 375) можетъ помѣ-



Фиг. 375.

стить ее ближе, въ *P'* и увидать ясно: стекло удалитъ ея изображение на разстояніе гдѣ глазъ видитъ ясно. Если дальновзоркій глазъ есть въ то же время эмметропическій (то-есть безъ приспособленія видѣть ясно отдаленные предметы), то стекло должно быть употребляемо только для наблюденія близкихъ предметовъ. Но если глазъ гетеротропическій, то-есть способный соединять на ретинѣ только сходящіеся лучи (дальновзоркость часто и сопровождается гетеротропіею), то собирающее стекло можетъ помогать наблюденію и отдаленныхъ предметовъ, давая лучамъ, параллельнымъ оси, соединяющимся безъ стекла въ точкѣ *r''* (фиг. 375), нѣкоторую сходямость, такъ что послѣ вторичнаго преломленія въ глазѣ они соединятся въ *C*.

§ 276. Изобрѣтеніе телескопа. Телескопъ Галилея.

Въ началѣ XVII вѣка голландскіе оптики стали устроить трубки, позволявшіе отдаленные предметы видѣть какъ бы приближенными и увеличенными. Трубки дѣлались изъ двухъ стеколъ: одного собирающаго, поставленнаго на удаленномъ отъ глаза концѣ трубки и другаго разсѣивающаго на концѣ ближайшемъ къ глазу. Первое, какъ обращенное къ разсматриваемымъ предметамъ, именуется нынѣ *предметнымъ* или *объективомъ*, второе, какъ ближайшее къ глазу, — *глазнымъ* или *окулярномъ*. Слухъ о голландскихъ трубкахъ достигъ Галилея, но безъ подробностей объ ихъ устройствѣ. Галилей самъ сталъ пробовать различныя соединенія стеколъ и въ 1609 году устроилъ свой первый телескопъ, позволившій ему сдѣлать великія астрономическія открытія, о которыхъ онъ сообщилъ ученымъ въ своемъ сочиненіи *Sidereus Nuncius* (1610 г.).

„Предлагаю, говоритъ Галилей, — въ этомъ маломъ сочиненіи нѣчто великое для разсмотрѣнія и размышленія каждому изучающему природу; говорю „великое“, основываясь на важности предмета, на новизнѣ его отъ вѣка неслышанной, а также и на томъ, что дѣло идетъ объ орудіи, дѣлающемъ весьма многое доступнымъ нашему глазу. Великое, конечно есть дѣло узнать о существованіи безчисленнаго множества новыхъ, невиданныхъ до сихъ поръ неподвижныхъ звѣздъ, далеко превосходящихъ численностью тѣ, которыя до настоящаго времени могли быть усмотрѣны невооруженнымъ зрѣніемъ. Приятно и восхитительно смотрѣть на луну (удаленную отъ

насъ почти на 60 земныхъ радиусовъ), какъ будто бы она отстояла только на 2 такихъ радиуса, такъ что діаметръ ея кажется почти въ 30 разъ, поверхность въ 900 разъ, объемъ же въ 2700 разъ большими противъ того какъ видимъ мы ихъ обыкновенно. Смотри на луну при такихъ условіяхъ, всякій замѣтитъ что она, какъ это съ достовѣрностію будетъ доказано ниже, не имѣетъ гладкой полированной поверхности, но представляетъ неровности и возвышенія подобно земной поверхности, покрыта огромными горами, глубокими пропастями и обрывами. Прекратить всѣ споры о млечномъ пути и обнаружить чувству и разуму его истинный составъ,—не за малое, полагаю, должно быть почитаемо. Пріятно кромѣ того показать что строеніе звѣздъ, которыхъ астрономы называютъ туманными, далеко не то какъ до нынѣ полагали. Но что всего удивительнѣе, и въ достовѣрности чего мы весьма желали бы убѣдить всѣхъ астрономовъ и философовъ,—есть открытіе четырехъ блуждающихъ звѣздъ, которыхъ никто не наблюдалъ еще до насъ; эти свѣтила обращаются въ опредѣленные періоды времени около одной изъ числа извѣстныхъ планетъ, подобно тому, какъ Венера и Меркурій обращаются вокругъ Солнца; упомянутыя четыре планеты то предшествуютъ центральному свѣтилу, то слѣдуютъ за нимъ, но никогда не уходятъ отъ него далѣе извѣстныхъ предѣловъ разстоянія. Все это я, напутствуемый Божиимъ благословеніемъ, открылъ нѣсколько дней тому назадъ при помощи придуманнаго мною зрительнаго снаряда.

„Я увѣренъ, что въ скоромъ времени мною или кѣмъ-нибудь другимъ будетъ открыто многое, еще болѣе замѣчательное, помощію инструментовъ подобныхъ новозобрѣтенному, форму и устройство котораго, а также и поводъ къ его изобрѣтенію я сейчасъ опишу и затѣмъ представлю отчетъ о сдѣланныхъ мною посредствомъ его наблюденіяхъ.

„Тому назадъ около десяти мѣсяцевъ дошелъ до насъ слухъ, что какимъ-то Голландцемъ устроенъ инструментъ, благодаря которому предметы находящіеся на далекомъ разстояніи кажутся какъ бы близъ насъ помѣщенными и могутъ быть разсматриваемы съ ясностію. Дѣйствіе этого удивительнаго снаряда подвергнуто было многимъ опытамъ, достовѣрности которыхъ одни вѣрили, другіе нѣтъ. О томъ же самомъ нѣсколько дней спустя извѣстилъ меня письмомъ благородный Галль Яковъ Бадоверъ изъ Лютеція. Все это такъ заинтересовало меня, что я посвятилъ всѣ свои труды на изысканіе научныхъ началъ и средствъ, которыя дѣлали бы возможнымъ устройство инструмента подобнаго рода, и скоро нашелъ желаемое, основываясь на законахъ преломленія свѣта.

„Прежде всего я приготовилъ себѣ свинцовую трубку, въ оконечности которой вставилъ по стеклу, изъ которыхъ одно было плосковыпуклое, другое плосковогнутое. Приближая затѣмъ глазъ къ вогнутому стеклу, я нашелъ, что предметы, на

которые была направлена труба увеличиваются и какъ бы приближаются; именно, всѣ предметы казались въ три раза ближайшими и слѣдовательно въ девять *) разъ большими, чѣмъ какъ они представляются намъ когда смотримъ на нихъ невооруженнымъ глазомъ. Послѣ этого я устроилъ другую, болѣе совершенную трубу, увеличивавшую отдаленные предметы болѣе чѣмъ въ 60 разъ. Наконецъ, не щадя труда и издержекъ, я дошелъ до того что приготовилъ себѣ такую трубу, которая увеличивала предметы въ 1000 разъ и, такимъ образомъ, приближала ихъ на разстояніе болѣе чѣмъ въ 30 разъ ближе къ настоящему. Было бы совершенно бесполезнымъ говорить, какія выгоды представляетъ такой снарядъ какъ на сушѣ такъ и на морѣ. Но оставивъ земные предметы, я съ моимъ орудіемъ обратился къ небеснымъ и прежде всего взглянулъ на Луну, приблизившуюся ко мнѣ на разстояніе лишь двухъ земныхъ радиусовъ. Затѣмъ съ неописаннымъ наслажденіемъ я много разъ наблюдалъ неподвижныя и блуждающія звѣзды. Замѣчу для тѣхъ которые пожелаютъ сами производить такого рода наблюденія, что труба должна быть приготовлена съ возможною точностію, дабы передаваемое ею изображеніе представлялось совершенно явственно и не имѣло туманныхъ очертаній; необходимо также, чтобы поверхности предметовъ были увеличиваемы трубою не менѣе какъ въ 400 разъ, то-есть чтобы предметы приближались въ 20 разъ къ глазу наблюдателя. Безъ выполненія этихъ условій всѣ попытки увидать что-либо изъ того что, какъ было сказано, мы видѣли на небѣ и о чемъ мы будемъ говорить ниже, останутся тщетными. Въ томъ обладаетъ ли труба сказанною степенью увеличенія, каждый легко можетъ убѣдиться слѣдующимъ образомъ: нужно взять два картонныхъ кружка или квадрата такихъ размѣровъ, чтобы площадь одного изъ нихъ была въ 400 разъ больше площади другаго, чего очевидно достигнемъ, когда діаметръ большаго круга будетъ относиться къ діаметру меньшаго, какъ 20:1. Помѣстивъ рядомъ такіе кружки и ставъ отъ нихъ на довольно значительное разстояніе, будемъ въ одно и то же время смотреть однимъ глазомъ черезъ трубу на меньшій кругъ, другимъ же, невооруженнымъ, на большій; приближаясь затѣмъ понемногу къ мѣсту гдѣ находятся круги и не переставая смотрѣть на нихъ, какъ сейчасъ было сказано, мы скоро замѣтимъ,—если только труба обладаетъ способностію увеличивать предметы въ желаемой степени,—что оба круга имѣютъ одинаковую кажущуюся величину....

„Достойно замѣчанія различіе въ видѣ планетъ и неподвижныхъ звѣздъ при наблюденіи чрезъ трубу. Планеты представляются маленькими кружками, резко очерченными, какъ бы малыми лунами; неподвижныя же звѣзды не имѣютъ опредѣленныхъ

*) Подразумѣвается поверхность предметовъ.

очертаний, но бывают окружены как бы дрожащими лучами, искриющимися подобно молнии. Труба увеличивает только их блескъ, такъ что звѣзды пятой и шестой величины дѣлаются по яркости равными Сиріусу, самой блестящей изъ неподвижныхъ звѣздъ. Вслѣдствіе этого труба открываетъ намъ почти невѣроятное количество свѣтилъ, укрывавшихся доселѣ отъ невооруженнаго зрѣнія...

„Третій предметъ, обратившій наше вниманіе, былъ млечный путь, составъ котораго, благодаря зрительной трубѣ, обнаружился до того ясно, что теперь можно всѣ споры, мучившіе философовъ въ продолженіи столькихъ вѣковъ, считать разрѣшенными осознательною очевидностью, освободившею насъ отъ голословныхъ преній. Млечный путь есть не что иное какъ тѣсное собраніе безчисленнаго множества звѣздъ; въ какомъ бы мѣсто млечнаго пути ни была направлена труба, вездѣ намъ представляется громадное множество звѣздъ; многія довольно велики и явственно видимы, а съ ними необозримое множество мельчайшихъ...

„Остается—что за главное въ нашемъ дѣлѣ почитаю—сообщить объ открытіи и наблюденіи четырехъ планетъ, отъ начала міра до нашихъ временъ никогда невиданныхъ... 7 января 1610 года, въ первомъ часу нечи, наблюдая небесные свѣтила, я, между прочимъ, направилъ на Юпитера мою трубу и, благодаря ея совершенству, увидѣлъ недалеко отъ планеты три маленькія блестящія звѣздочки, которыхъ прежде не замѣчалъ вслѣдствіе слабаго увеличенія бывшей въ то время у меня трубы. Эти свѣтлыя точки были приняты мною за неподвижныя звѣзды; онѣ обратили на себя мое вниманіе только потому, что всѣ три находились на совершенно прямой линіи, параллельной эклиптикѣ, и были нѣсколько ярче звѣздъ одинаковой съ ними величины. Расположеніе ихъ относительно Юпитера было слѣдующее: двѣ находились на восточной сторонѣ планеты, третья же — на западной. Крайняя восточная звѣздочка и западная казались немного большими третей. Я тогда не опредѣлялъ точныхъ образомъ ихъ взаимныхъ разстояній, ибо, какъ сказано, онѣ были сочтены мною за неподвижныя звѣзды. Черезъ восемь дней, ведомый не знаю какою судьбою, я опять направилъ трубу на Юпитера и увидѣлъ что расположеніе звѣздочекъ значительно измѣнилось: именно, всѣ три помѣщались на западѣ отъ планеты и ближе одна къ другой, чѣмъ въ предшествовавшее наблюденіе. Онѣ по прежнему стояли на прямой линіи, но уже были раздѣлены между собою равными промежутками. Хотя я былъ далекъ отъ мысли приписать это собственному движенію звѣздочекъ, но тѣмъ не менѣе сомнѣвался, чтобы такое измѣненіе въ ихъ положеніи могло произойти отъ перемѣщенія Юпитера, за нѣсколько дней находившагося на западѣ отъ двухъ изъ звѣздочекъ... Съ величайшимъ нетерпѣніемъ ожидаю я слѣдующей ночи, чтобы разсѣять свои сомнѣнія, но былъ обманутъ въ сво-

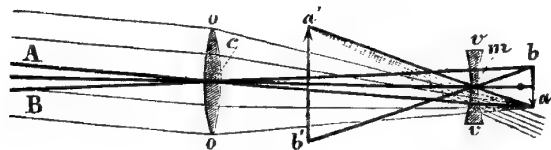
ихъ ожиданіяхъ: небо въ эту ночь было со всѣхъ сторонъ покрыто облаками. На десятый день я снова увидѣлъ звѣздочки... (Галилей описываетъ далѣе новое расположеніе звѣздочекъ и дальнѣйшія свои надъ ними наблюденія; число звѣздочекъ оказалось четыре). Вслѣдствіе всего этого я уже безъ малѣйшаго колебанія рѣшилъ, что существуютъ четыре свѣтила, вращающіяся около Юпитера подобно тому какъ Венера или Марсъ вращаются около Солнца. Нынѣ имѣемъ очевидный аргументъ, чтобы разсѣять сомнѣніе тѣхъ кои, склоняясь допустить что планеты обращаются вокругъ солнца, смущаются однако какимъ образомъ Луна несется вокругъ Земли и въ то же время вмѣстѣ съ нею совершаетъ годичный кругъ около Солнца... Мы знаемъ теперь что есть планеты обращающіяся одна около другой и въ то же время вмѣстѣ несущіяся вокругъ Солнца; мы знаемъ что и около Юпитера движутся, и не одна, но четыре луны, слѣдующія за нимъ во все продолженіе его двѣнадцатилѣтняго обращенія около Солнца“.

Открытіе фазъ Венеры, наблюденіе солнечныхъ пятенъ слѣдовали за первыми открытіями Галилея *).

§ 277. Теорія Галилеевой трубки. Разсѣвающее стекло ставится за объективомъ ближе того мѣста (§ 269), гдѣ этотъ послѣдній далъ бы отчетливое изображеніе отдаленнаго предмета. Въ разсѣвающее стекло вступаютъ слѣдовательно пучки сходящихся лучей; одинъ изъ такихъ пучковъ

*) Открытія Галилея разрушившія господствовавшія понятія о строеніи міра были встрѣчены недоумѣніемъ защитниковъ стараго ученія. Кеплеръ былъ одинъ изъ первыхъ оцѣнившихъ великое значеніе раскрытій произведенныхъ помощію новаго снарада. О нѣкоторыхъ изъ своихъ противниковъ Галилей такъ писалъ Кеплеру въ письмѣ отъ 19 августа 1610 года. „Посмѣемся, мой Кеплеръ, великой глупости людской! Что сказать о первыхъ философахъ здѣшней гимназіи, которые съ какимъ-то упорствомъ аспіда, несмотря на тысячекратное приглашеніе, не хотѣли даже взглянуть ни на планеты, ни на луну, ни на телескопъ. Понистинѣ, какъ у того нѣтъ ушей, такъ у этихъ глаза закрыты для свѣта истины. Замѣчательно, но меня не дивить. Этотъ родъ людей думаетъ, что философія какаго-то книга, какъ *Энеида* или *Одиссея*: истину же надо искать не въ мірѣ, не въ природѣ, а въ сличеніи текстовъ. Почему не могу посвятится вмѣстѣ съ тобою? Какъ громко расхохотался бы ты, еслибъ слышалъ что толковать противъ меня, въ присутствіи великаго герцога Пизанскаго, первый ученый этой гимназіи, какъ усиливается онъ логическими аргументами, какъ бы магическими прельщеніями, отозвать и удалить съ неба новыя планеты!“

направленный къ a , изображенъ на фиг. 376. Стекло, разбрасыва-

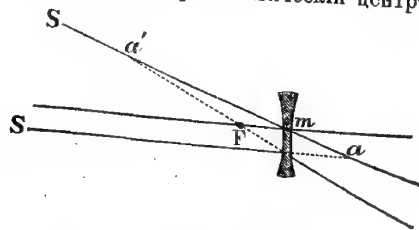


Фиг. 376.

лучи данного пучка, можетъ превратить ихъ изъ сходящихся въ параллельные или даже расходящіяся. Оно превращаетъ лучи каждаго изъ пучковъ въ параллельные между собою, если отстоятъ отъ мѣста, гдѣ безъ него образовалось бы изображеніе ab —на разстояніи равномъ его фокусному разстоянію. Если же оно отстоитъ отъ ab дальше своего фокуснаго разстоянія (такъ и есть на чертежѣ), то лучи каждаго изъ пучковъ становятся расходящимися. Черезъ это *дѣйствительное* изображеніе ab превращается въ *мнимое* $a'b'$. Изображеніе это удалено отъ окуляра на безконечное разстояніе, если ab приходится въ его фокусъ; оно приближается къ окуляру по мѣрѣ его сближенія съ объективомъ.

Глазъ помѣщенный предъ стекломъ vv видитъ мнимое изображеніе $a'b'$. Такъ какъ a' , изображеніе верхней точки предмета, находится вверху; b' , изображеніе нижней точки, внизу, то глазъ видитъ черезъ трубу предметъ въ *прямомъ* положеніи.

Превращеніе, помощью разсѣивающаго стекла, сходящагося пучка въ расходящійся, и черезъ то обратнаго дѣйствительнаго изображенія, въ мнимое прямое удобно прослѣдить, обозначивъ отдѣльно, какъ сдѣлано на фиг. 377, путь двухъ лучей, изъ числа стремящихся соединиться въ точкѣ a , и избравъ эти лучи такъ чтобъ одинъ sa былъ параллеленъ оси, другой же Sma проходитъ черезъ оптическій центръ m стекла.



Фиг. 377.

Послѣдній пройдетъ не преломляясь, первый по преломленіи направится такъ что путь его, продолженный мысленно назадъ, долженъ пройти черезъ фокусъ F .

Увеличеніе Галилеевой трубы найдемъ, если сравнимъ (фиг.

376) уголъ $a'tb' = amb$, подѣ которымъ видимъ изображеніе черезъ трубу, съ угломъ $AcB = acb$, подѣ которымъ видѣли бы этотъ предметъ простымъ глазомъ. Эти углы, опирающіеся оба на линію ab , относятся между собою какъ разстояніе изображенія ab отъ стекла oo къ разстоянію ab отъ стекла vv . Такъ какъ предметъ вообще находится на большомъ разстояніи, то разстояніе ab отъ объектива oo равняется фокусному разстоянію F_1 этого стекла. Разстояніе изображенія ab отъ стекла vv также мало разнится отъ фокуснаго разстоянія F_2 этого стекла, если допустимъ что глазъ наблюдателя приспособленъ къ отдаленному разстоянію и потому стекло vv поставлено такъ что отбрасываетъ изображеніе $a'b'$ на значительное разстояніе, превращая лучи сходящихся лучей въ пучки лучей параллельныхъ. Слѣдова-

тельно *увеличеніе* $G = \frac{F_1}{F_2}$, то-есть равняется *фокусному разстоянію объектива дѣленному на фокусное разстояніе окуляра*.

Практически увеличеніе не трудно опредѣлить, смотря одновременно однимъ глазомъ черезъ трубу, а другимъ прямо на предметъ правильной формы или на нарочно поставленную скаду съ дѣленіями, и опредѣляя во сколько разъ видимое черезъ трубу изображеніе предмета кажется болѣе самого предмета видимаго простымъ глазомъ.

Поле зрѣнія Галилеевой трубы, то-есть выраженную въ градусахъ величину діаметра пространства заразъ черезъ нее усматриваемаго,—не трудно опредѣлить на основаніи слѣдующихъ простыхъ соображеній. Видимые въ трубу предметы кажутся помѣщающимися въ свѣтломъ кругѣ, который есть не что иное какъ *мнимое изображеніе* *) отверстія объектива, усматриваемое черезъ окуляръ. Такъ какъ вообще изъ центра стекла предметъ и его изображеніе кажутся подѣ одинаковымъ угломъ, то за мѣру угловой величины діаметра этого видимаго глазомъ свѣтлаго окна можно приблизительно принять,—предполагая глазъ у оптическаго центра окуляра,—частное отъ дѣленія величины объектива (выраженной, на примѣръ, въ миллиметрахъ) на разстояніе объектива отъ окуляра (выраженное такимъ же образомъ) то-есть:

$\frac{D}{F_1 - F_2}$, гдѣ D діаметръ объектива а разность $F_1 - F_2$ сказанное разстояніе (согласно теоріи трубы). Выраженная въ градусахъ эта величина будетъ

$$\frac{360^\circ}{2\pi} \cdot \frac{D}{F_1 - F_2}$$

Еслибы черезъ окно такой угловой величины мы простымъ глазомъ смотрѣли на предметы, то это число градусовъ прямо указывало бы какую часть всего круга внѣшнихъ предметовъ мы усматриваемъ заразъ. Но такъ какъ труба увеличиваетъ въ n , на примѣръ, разъ, то-есть какъ бы ставитъ пред-

*) Съ не совсѣмъ ясными очертаніями по близости къ глазу.

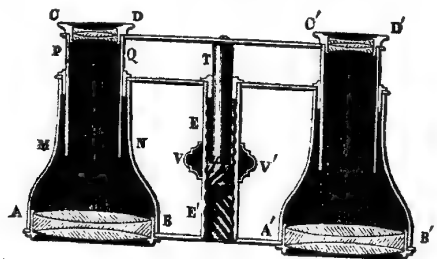
меты въ n разъ ближе къ глазу, то, при томъ же видимомъ отверстіи, мы чрезъ трубу увидимъ въ n разъ меньшую часть круга вѣдшихъ предметовъ. Потому, чтобъ имѣть истинное поле зрѣнія Галилеевой трубки, надо предыдущее выраженіе еще раздѣлить на n или на $\frac{F_1}{F_2}$, такъ какъ n , по пре-

дыдущему, равно $\frac{F_1}{F_2}$. Итакъ поле зрѣнія есть:

$$\frac{360^\circ}{2\pi} \cdot \frac{D}{F_1 - F_2} \cdot \frac{F_2}{F_1}$$

Повѣрить предлагаемую теорію не трудно, опредѣляя поле зрѣнія прямымъ опытомъ, измѣряя, напримѣръ, разстояніе отъ трубы и между собою двухъ крайнихъ предметовъ видимыхъ чрезъ трубу, положимъ, двухъ свѣчъ поставленныхъ на опредѣленномъ разстояніи отъ наблюдателя.

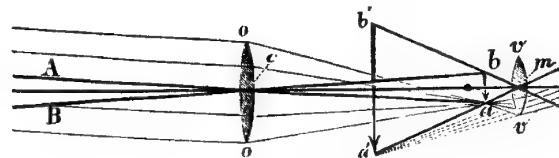
При нѣскольکو значительномъ увеличеніи, поле зрѣнія Галилеевой трубы имѣетъ малую величину, и потому употребленіе ея для астрономическихъ наблюденій было скоро оставлено; нынѣ же она употребляется главнымъ образомъ, въ формѣ двухъ соединенныхъ трубокъ или *бинокля* (фиг. 378), при театральнхъ и другихъ зрѣлищахъ.



Фиг. 378.

§ 278: **Астрономическая труба Кеплера и Шейнера.** Кеплеръ въ своей *Диоптрикѣ* предложилъ другое соединеніе стеколъ для зрительной трубы,—именно два собирающія стекла, одно въ качествѣ объектива, другое въ качествѣ окуляра. Первый ученый на практикѣ воспользовавшійся такою трубой для астрономическихъ наблюденій былъ іезуитъ Шейнеръ. Объективъ даетъ близъ своего фокуса обратное воздушное изображеніе предмета. Наблюдатель чрезъ второе собирающее стекло разсматриваетъ

это изображеніе въ увеличенномъ видѣ, приближивъ окуляръ къ изображенію нѣсколько ближе фокуснаго разстоянія. Фиг. 379 даетъ понятіе о теоріи

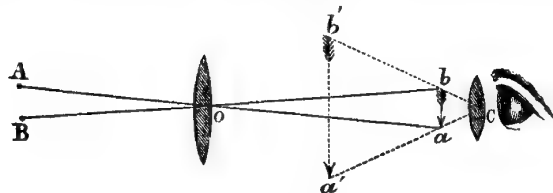


Фиг. 379.

рин такой зрительной трубы, о которой мы уже упоминали, говоря въ § 269 о наблюденіи глазомъ воздушныхъ изображеній. Лучи вышешіе изъ какой-нибудь отдаленной точки A по преломленію въ объективѣ oo соединяются въ точкѣ a , и вновь расходясь, попадаютъ на окуляръ vv , превращающій пучокъ расходящійся изъ a въ другой менѣе расходящійся, вершина котораго a' лежитъ далѣе отъ стекла чѣмъ a . Вообще дѣйствительное обратное изображеніе ab окуляромъ превращается въ мнимое обратное же изображеніе $a'b'$, и отбрасывается на разстояніе яснаго зрѣнія смотрящаго глаза.

Шейнеръ (1630 г.) объ астрономической зрительной трубѣ говоритъ такъ: „Если приладишь два одинаковыхъ стекла въ трубѣ и надлежащимъ образомъ приложишь глазъ, то увидишь въ обратномъ положеніи, но съ удивительною ясностію и величиною, какіе-либо земные предметы. И звѣзды можно привести въ послушаніе зрѣнію; и такъ какъ онѣ круглы, то обратность положенія не измѣнитъ зрѣлища въ томъ что касается видимой формы,—какъ то бываетъ относительно земныхъ предметовъ, какъ то можно замѣтить и относительно Луны, ибо она не всегда круга и однородна. Если тѣмъ же способомъ приладишь два выпуклыхъ цветныхъ стекла въ трубѣ, то получишь дивный *гелиоскопъ* и откроешь то что сокрыто въ солнцѣ. Подобнымъ искусствомъ составилъ тотъ удивительный микроскопъ что показываетъ муху со слона и блоху съ верблюда. Если тебя смущаетъ обратность положенія, то помощію двухъ выпуклыхъ стеколъ можешь, на бумагѣ, (въ продолженіи) получить изображеніе въ прямомъ видѣ, а помощію трехъ, надлежаще поставленныхъ, достигъ того же и для смотрящаго глаза.“

Увеличение получимъ, сравнивая (фиг. 380) уголъ $\angle bCa$ подъ которымъ кажется изображеніе (предполагая глазъ у самого стекла)



Фиг. 380.

съ угломъ $\angle BOA = \angle BOA$, подъ которымъ предметъ представлялся бы простому глазу. Углы эти относятся между собою какъ разстояніе изображенія ab отъ объектива относится къ разстоянію ab отъ окуляра, то-есть приблизительно какъ F_1 ,—фокусное разстояніе объектива, къ F_2 , фокусному разстоянію окуляра (если допустимъ что смотрящій глазъ приспособленъ къ далекому разстоянію и слѣдовательно изображеніе ab чтобы быть отброшеннымъ далеко должно быть близко къ фокусу окуляра). Слѣд. $G = \frac{F_1}{F_2}$ какъ и въ Галилеевой трубкѣ.

Практическое опредѣленіе увеличенія основывается, какъ и въ случаѣ Галилеевой трубы, на одновременномъ наблюденіи предмета чрезъ трубу и простымъ глазомъ. Пользуются также слѣдующимъ приемомъ. Если, установивъ трубу для отдаленныхъ предметовъ, направить ее къ свѣтлому пространству, напримѣръ къ небесному своду, и удалить нѣсколько глазъ отъ окуляра, то въ срединѣ окуляра замѣтимъ свѣтлое круглое пятно, которое есть не иное что какъ образованное дѣйствіемъ окуляра воздушное изображеніе отверстія объектива. Это изображеніе какъ не трудно доказать, во столько разъ менѣе самого отверстія во сколько F_2 менѣе F_1 . Потому, если, измѣривъ величину діаметра сказаннаго свѣтлаго пятна (для этого его можно принять на экранъ или на стекло съ мелкими дѣленіями), раздѣливъ на нее величину діаметра объектива, то получимъ *увеличеніе*.

Поле зрѣнія. Каждая точка видимаго чрезъ трубу предмета даетъ пучокъ лучей, собираемыхъ объективомъ въ одну точку, изъ которой они опять расходятся, но дѣйствіемъ окуляра вновь сводятся въ одну точку на ретинѣ наблюдателя. Путь пучка удобно слѣдить, обративъ вниманіе на его осевой лучъ, проходящій чрезъ оптическій центръ объектива. Остальные лучи пучка служатъ, главнымъ образомъ, лишь къ тому чтобы поддерживать силу этого центрального; на нихъ потому можно не обращать вниманія: ограничиваясь разсмотрѣніемъ однихъ центральныхъ, которые расходятся изъ центра

объектива какъ изъ общей вершины и, попадая въ глазъ, производятъ изображеніе. Но лучи, идущіе изъ центра (фиг. 381) объектива какъ изъ вершины, окуляромъ сводятся въ одну точку въ



Фиг. 381.

Фиг. 382.

томъ мѣстѣ гдѣ окуляръ, дѣйствуя какъ собирающее стекло, даетъ воздушное изображеніе отверстія объектива. Эта точка называется *глазною*; помѣщенный около нея глазъ приметъ всѣ центральные лучи попавшіе на окуляръ, который потому и будетъ дѣйствовать полнымъ своимъ отверстіемъ. Поле зрѣнія будетъ наибольшее и обозрѣваемое пространство опредѣлится угломъ $\angle aCb$, равнымъ углу, подъ которымъ окуляръ показался бы, еслибы смотрѣть на него изъ центра объектива. Мѣра

этого угла есть $\frac{d}{F_1 + F_2}$, гдѣ d діаметръ окуляра: въ градусахъ: $\frac{360^\circ}{2\pi} \cdot \frac{d}{F_1 + F_2}$.

Окуляръ разсѣивающій, какой употребляется въ Галилеевой трубкѣ, удаляетъ между собою упомянутые центральные лучи пучковъ (фиг. 382) и если глазъ даже у самого окуляра, то въ него попадаетъ не болѣе такихъ лучей какъ сколько ихъ опирается на отверстіе зрачка. Но мы сдѣлали бы ошибку, еслибы опредѣлили поле зрѣнія величиною угла, подъ которымъ отверстие зрачка кажется изъ центра объектива, ибо значительная часть изображенія на ретинѣ образуется пучками проникающими не чрезъ центральную часть объектива и слѣдовательно не имѣющими центрального луча въ принятомъ нами смыслѣ. Поле зрѣнія Галилеевой трубы зависитъ отъ величины отверстія объектива, какъ видно изъ предложенной (§ 275) нами выше теоріи *).

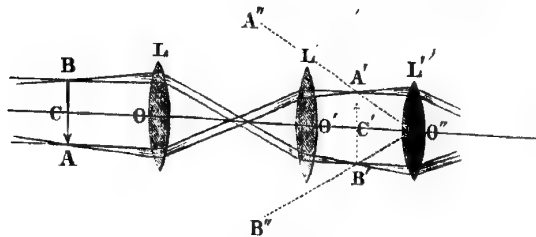
*) Теорія эта прилагается и къ Кеплеровой трубкѣ. Здѣсь окно, чрезъ которое смотримъ, есть отверстіе окуляра ab (фиг. 381). Угловая величина его приблизительно получится если діаметръ d окуляра раздѣлимъ на разстояніе отъ окуляра точки O гдѣ глазъ, (разстояніе это, какъ не трудно видѣть, есть $F_2(F_1 + F_2)$) и помножимъ на $\frac{360^\circ}{2\pi}$. Раздѣливъ полученное такимъ образомъ угловое разстояніе на увеличеніе $\frac{F_1}{F_2}$, получимъ поле зрѣнія.

Такъ какъ увеличеніе тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше фокусное разстояніе объектива сравнительно съ фокуснымъ разстояніемъ окуляра, то когда Кеплерова труба замѣнила Галилееву, стали устраивать трубы съ очень длиннымъ фокуснымъ разстояніемъ объектива; дѣлались трубы болѣе 150 футовъ длиною (напримѣръ длинные телескопы Гюгенса). Оптическіе недостатки изображенія въ длинномъ телескопѣ менѣе замѣтны чѣмъ въ короткомъ, такъ какъ, во-первыхъ, преломляющее дѣйствіе, — причина этихъ недостатковъ, слабѣе въ объективѣ съ длиннымъ фокусомъ, чѣмъ въ болѣе выпукломъ объективѣ съ короткимъ фокусомъ, и, во-вторыхъ, для того же увеличенія, въ длинномъ требуется менѣе сильный окуляръ, открывающій глазу недостатки воздушнаго изображенія не въ столь увеличенномъ видѣ, какъ болѣе сильный, то-есть болѣе увеличивающій окуляръ.

Дальнѣйшія усовершенствованія астрономическихъ трубъ состояли во введеніи окуляровъ изъ нѣсколькихъ стеколъ (сложные окуляры изъ двухъ стеколъ), а главное въ устройствѣ *ахроматическихъ* объективовъ, то-есть дающихъ изображение свободное отъ цвѣтныхъ коймъ. Изобрѣтеніе такихъ объективовъ позволило изгнать длинные телескопы, съ которыми было крайне трудно управляться.

Для наблюденія земныхъ предметовъ, которые неудобно разсматривать верхъ ногами, употребляются сложные окуляры изъ трехъ или четырехъ стеколъ.

Фиг. 383 изображаетъ окуляръ съ тремя стеклами. Стекла



Фиг. 383.

L и L' даютъ въ $A'B'$ обратное изображение объективомъ представленнаго изображенія AB . Новое изображение $A'B'$, представляющее предметъ уже въ прямомъ видѣ, разсматривается мощію одного стекла L'' . Можно было бы получить изображеніе $A'B'$ подалѣе поставить отъ AB , но тогда это стекло пришлось бы. Вмѣсто стекла L' въ свою очередь можно взять соединеніе двухъ стеколъ. Получимъ земной окуляръ изъ четырехъ стеколъ.

Телескопъ Кеплера именуется также *рефракторомъ* или *диоптрическимъ* телескопомъ, такъ какъ изображеніе получается путемъ преломленія.

Если отодвинуть окуляръ отъ объектива, такъ чтобы изображение ab (фиг. 380) было нѣсколько дальше отъ окуляра чѣмъ фокусное разстояніе этого послѣдняго, то окуляръ будетъ относительно ab дѣйствовать какъ собирающее стекло дающее действительныя изображенія. Получится изображеніе стѣ изображенія ab , которое и можно принять на экранъ. По отношенію къ предмету оно будетъ прямое. Такимъ способомъ, напримѣръ, наблюдали въ XVII вѣкѣ солнечныя затменія какъ видно на фиг. 384 заимствованной изъ сочиненія извѣстнаго астронома своего времени, бургомистра въ городѣ Данцигѣ, Гевелія (1673 г.) — *Machina coelestis*.



Фиг. 384.

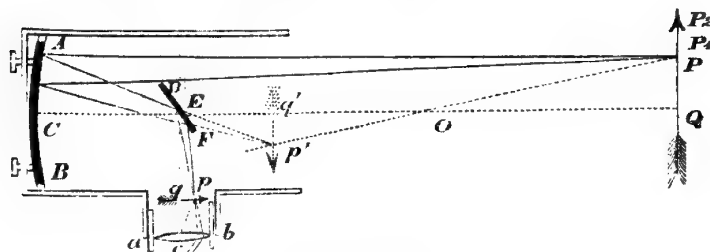
Разсматривая теорію зрительной трубы, мы предполагали предметъ удаленнымъ на безконечно великое или по крайней мѣрѣ весьма большое разстояніе. Чѣмъ ближе предметъ къ объективу тѣмъ дальше отъ него будетъ изображеніе ab и тѣмъ сдвигать дальше надо раздвинуть трубу (чтобы поставить окуляръ въ надлежащее разстояніе отъ ab). На этомъ основаніи, помощію трубы мы можемъ до извѣстной степени судить о раз-

стоянии на какомъ находится предметъ и следовательно пользоваться трубою въ качествѣ *далекомера*. Но это возможно съ некоторою точностію только для недалекихъ разстояній, такъ какъ предметъ удаленный, напримѣръ, на разстояніе значительнаго числа фокусныхъ разстояній стекла даетъ изображеніе уже весьма близко къ фокусу; да и, вслѣдствіе приспособленія глаза, окуляръ трудно устанавливать однообразно. При объясненіи элементарныхъ оптическихъ явленій, труба можетъ служить для нахождения мѣста оптическихъ изображеній, о чемъ глазъ даетъ весьма несовершенное сужденіе. Помощію трубы можно, напримѣръ, убѣдиться что въ плоскомъ зеркалѣ мнимое изображеніе находится на такомъ же разстояніи какъ предметъ предъ зеркаломъ, въ выпукломъ близко и пр.

§ 279. **Катоптрическій телескопъ Ньютона.** Когда сдѣлалось извѣстнымъ и распространилось употребленіе Голландской или Галилеевой трубы, некоторые ученые,—принимая въ соображеніе что вогнутое зеркало способно точно также какъ собирающее стекло давать дѣйствительныя изображенія, — высказывали мысль о замѣнѣ объективнаго стекла вогнутымъ зеркаломъ *). Практическое осуществленіе этой мысли принадлежитъ Ньютону. Изслѣдуя причину цвѣтныхъ воймъ на мѣстахъ перехода отъ свѣта къ тѣни въ изображеніяхъ получаемыхъ путемъ преломленія (явленіе *хроматизма*) и ошибочно считая этотъ недостатокъ неустранимымъ; соображая, съ другой стороны, что изображенія получаемыя чрезъ отраженіе отъ такихъ воймъ свободны, Ньютонъ возымѣлъ надежду, пользуясь отраженіемъ отъ металлическаго выпнутаго зеркала, устроить *катоптрическій* (основанный на отраженіи) телескопъ болѣе совершенный чѣмъ телескопы *диоптрическіе* (основанные на преломленіи) или *рефракторы*. Къ концу 1671 года онъ представилъ въ Лондонское Королевское общество соб-

*) Невыгода замѣны стекла зеркаломъ въ томъ что при отраженіи утрачивается свѣта гораздо болѣе чѣмъ при прохожденіи чрезъ прозрачное стекло и потому для достиженія одинакой яркости изображенія отверстіе зеркала должно быть много больше отверстія стекла.

ственными руками сдѣланный телескопъ, металлическое зеркало котораго имѣло радіусъ $12\frac{1}{2}$ дюйма и следовательно „собирало солнечные лучи на разстояніи $6\frac{1}{2}$ дюймовъ“. Отраженные зеркаломъ лучи (фиг. 385)



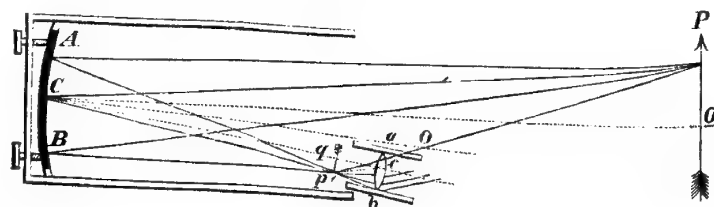
Фиг. 385.

падали на маленькое плоское зеркало *E*, наклоненное подъ угломъ 45° къ оси трубы. Оно отражало изображение, которое, еслибы зеркальца не было, образовалось бы въ *pg*, въ сторонѣ трубы, гдѣ было сдѣлано отверстіе принимавшее небольшую трубку съ плоско-выпуклымъ глазнымъ стекломъ, котораго радіусъ былъ около $\frac{1}{12}$ дюйма (фокусное разстояніе следовательно около $\frac{1}{6}$ дюйма); предметъ представлялся увеличеннымъ въ 38 разъ. Телескопъ не уступалъ лучшимъ шести-футовымъ рефракторамъ того времени.

Катоптрическіе телескопы впрочемъ медленно входили въ употребленіе и только дѣтъ чрезъ шестьдесятъ послѣ первыхъ попытокъ Ньютона были доведены въ мастерскихъ англійскихъ оптиковъ до такого совершенства, что могли конкурировать съ бывшими тогда въ употребленіи длинными диоптрическими трубами. Открытіе, около середины прошлаго столѣтія, ахроматическаго объектива (то-есть сложнаго стекла дающаго изображенія свободныя отъ цвѣтныхъ воймъ) вновь отодвинуло катоптрическіе сна-

ряды на задній планъ до той эпохи, когда Уильямъ Гершель, знаменитый англійскій астрономъ конца прошлаго вѣка, вновь не прибѣгъ къ этому средству проникать въ глубину пространства, сдѣлавъ изъ катоптрическаго телескопа могущественнѣйшій изъ оптическихъ снарядовъ для наблюденія отдаленныхъ предметовъ.

Гершель собственноручно приготовилъ болѣе четырехсотъ зеркалъ и изъ нихъ до восьмидесяти въ двадцать футовъ фокуснаго разстоянія. Самый большой изъ его телескоповъ имѣлъ сорокъ футовъ фокуснаго разстоянія и зеркало съ отверстіемъ въ четыре фута въ діаметръ (издержки построения приняты были на себя англійскимъ королемъ). Чтобы избѣгнуть потери свѣта при вторичномъ отраженіи отъ малаго зеркала въ телескопъ по системѣ Ньютона, Гершель располагалъ свои большіе телескопы какъ показано на фиг. 386. Зеркало ставилось слегка на-



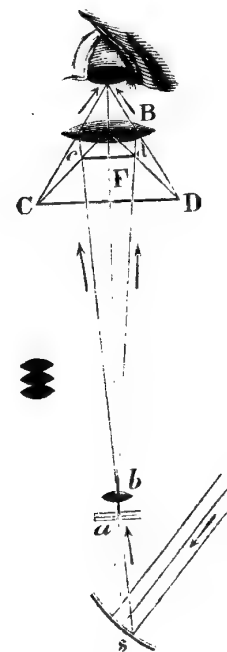
Фиг. 386.

клонно, и изображеніе образовавшееся при краѣ трубы прямо наблюдалось окуляромъ.

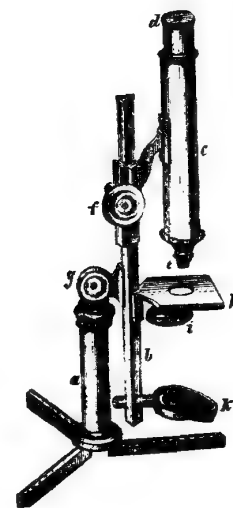
Въ нынѣшнемъ столѣтіи огромные телескопы, произшедшіе телескопы Гершеля, были устраиваемы лордомъ Россомъ въ сороковыхъ годахъ.

§ 280. Сложный микроскопъ. Теорія сложнаго микроскопа въ основной идеѣ та же какъ и зрительной

трубы. Онъ состоитъ изъ двухъ стеколъ: объектива съ весьма короткимъ фокусомъ, дающаго (фиг. 387) увеличенное обратное изображеніе малаго предмета помещаемаго подъ нимъ нѣсколько далѣе чѣмъ фокусное разстояніе; и изъ окуляра, помощью котораго наблюдатель разсматриваетъ воздушное изображеніе cd ,—дѣйствіемъ окуляра удаленное, уве-



Фиг. 387.

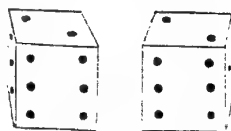


Фиг. 388.

личенное и кажущееся въ CD . Увеличеніе равно произведенію увеличенія объектива на увеличеніе окуляра. Для освѣщенія предмета, представляющаго собою обыкновенно тонкій просвѣчивающій

слой, употребляется зеркальце помѣщаемое внизу снаряда, общій видъ котораго изображенъ на фиг. 388.

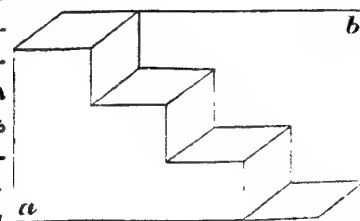
§ 284. Зрѣніе двумя глазами. Стереоскопъ. Предметъ стоящій предъ наблюдателемъ въ близкомъ разстояніи представляется неодинаково для его праваго и лѣваго глаза. Такъ, если помѣстимъ предъ собою ребромъ, перпендикулярно къ линіи соединяющей одинъ глазъ съ другимъ, листъ бумаги, то правый глазъ, если закроемъ лѣвый, увидитъ правую сторону бумаги, лѣвый, при закрытомъ правомъ, лѣвую. Поставимъ, палецъ предъ свѣчой такъ что бы онъ загоразивалъ ее для праваго, на примѣръ, глаза, когда лѣвый закрыть. Если откроемъ лѣвый глазъ, закрывъ правый, то палецъ покажется значительно отклоненнымъ вправо, а свѣчка сдвигается видимою. Кубикъ съ пятнышками, поставленный предъ глазами представляется не одинаково для праваго и лѣваго глазъ, какъ видно на фиг. 389. Явленіе происходитъ отъ того



Фиг. 389.

что правый и лѣвый глазъ, находясь на нѣкоторомъ разстояніи между собою, съ разныхъ точекъ смотрятъ на предметъ, вслѣдствіе чего рисунокъ на ихъ ретинахъ неодинаковъ. Когда смотримъ двумя глазами, то соединяемъ оба впечатлѣнія и, усматривая ясно лишь небольшое протяженіе около того мѣста, на которомъ сводимъ оси обонхъ глазъ, не даемъ себѣ отчета что всѣ другія части двоятся. Обозрѣвая предметъ и переходя отъ наблюденія болѣе близкой его точки къ наблюденію болѣе далекой, измѣняемъ сходимость

осей. Смутное сознаніе этой перемены позволяетъ отличить наблюденіе *тѣлеснаго* предмета и вообще точекъ находящихся на разномъ разстояніи отъ наблюденія рисунка, не имѣющаго глубины. Такимъ образомъ наблюденіе *двумя* глазами есть одно изъ главныхъ средствъ для представленія рельефа. Правда, относительно нѣсколькихъ удаленныхъ предметовъ, мы не замѣчаемъ разницы при наблюденіи ихъ однимъ или двумя глазами. Расположеніе свѣта и тѣни, измѣненія приспособленія и дѣйствіе воображенія, особенно относительно знакомыхъ предметовъ (такъ фигуру 390 можно представить себѣ перспективно и притомъ двояко, или какъ восходящую лѣстницу или какъ низходящій карнизъ *), позволяютъ и при наблюденіи однимъ глазомъ получить представленіе рельефа и глубины. Но наблюденіе *двумя* глазами пополняетъ эти средства. Кромѣ того оно позволяетъ, какъ

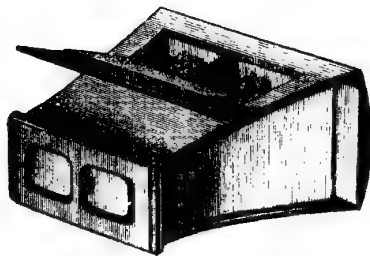


Фиг. 390.

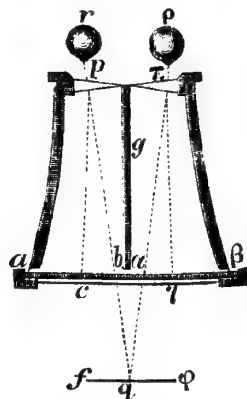
показалъ, въ 1835 году, англійскій физикъ Уитстонъ (Wheatstone), получить, *наблюдая рисунокъ* (или точнѣе два рисунка), и притомъ безъ усилія воображенія, невольное впечатлѣніе тѣлесности изображенныхъ предметовъ и ихъ расположенія въ пространствѣ одного ближе, другаго дальше. Инструментъ Уитстона назначенный для этой цѣли именуется стереоскопомъ. Англійскій физикъ Брюстеръ далъ ему слѣдующее, нынѣ употребительное, устройство. Представимъ себѣ два рисунка: одинъ изображающій

*) Въ первомъ случаѣ наблюдатель долженъ представить себѣ стѣну *a* какъ ближайшую къ себѣ; во второмъ, ближайшая должна представляться стѣна *b*.

предметъ какъ онъ кажется правому глазу, другой— какъ онъ представляется лѣвому. Помѣстимъ рисунки предъ соответствующими глазами. Дабы впечатлѣніе было то самое какое доставляется дѣйствительнымъ предметомъ, надо чтобъ оба рисунка казались *на одномъ и томъ же мѣстѣ*, какъ бы исходя отъ одного и того же предмета, на этомъ мѣстѣ находящагося. Это достигается помощію двухъ тонкихъ призмочекъ, или, лучше, помощію двухъ частей вырѣзанныхъ изъ выпуклаго стекла и помѣщенныхъ такъ что ихъ тонкіе края приходятся къ носу, толстые въ сторону висковъ. Такія призмочки или стекла (фиг. 392), отклоняя лучи къ толстымъ концамъ



Фиг. 391.



Фиг. 392.

(направляя, на примѣръ, лучи идущіе изъ точекъ s и $у$ такъ какъ еслибъ они выходили изъ общей точки q), представляютъ оба рисунка на одномъ и томъ же мѣстѣ. Стекло къ тому же ихъ нѣсколько удаляетъ и увеличиваетъ. Впечатлѣніе происходитъ такъ будто бы въ $fр$ былъ дѣйствительный предметъ. Рисунки для стереоскопа, кромѣ геометрическихъ фигуръ, дѣлаются обыкновенно фотографическіе. Но такъ какъ отдаленные предметы предста-

вляются почти одинаково для обоихъ глазъ (разстояніе между двумя глазами ничтожно сравнительно съ разстояніемъ предметовъ отъ наблюдателя), то прибѣгаютъ къ *форсированному* рельефу. Снимаютъ фотографическія изображенія въ такомъ видѣ такъ какъ предметъ казался бы правому и лѣвому глазу, еслибы глаза находились одинъ отъ другаго на разстояніи, на примѣръ, сажени и болѣе. Для этого снимаютъ изображенія въ двухъ экземплярахъ, помѣщая камеру-обскуру послѣдовательно въ двухъ разныхъ мѣстахъ, на сказанномъ разстояніи, и направляя ея ось къ одной избранной точкѣ.

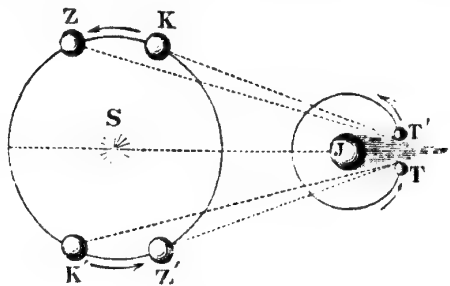
Физическое ученіе о лучахъ свѣта и теплоты. Разнородность лучей испускаемыхъ источниками тепла и свѣта.

§ 282. Скорость распространенія свѣта. Датскій астрономъ Рёмеръ, приглашенный въ члены Парижской Академіи Наукъ въ первые годы ея учрежденія, первый напалъ на остроумную мысль воспользоваться для опредѣленія скорости распространенія свѣта затмѣніями спутниковъ планеты Юпитеръ. Пусть (фиг. 393 на слѣд. стр.) S есть Солнце, K Земля, движущаяся по своей орбитѣ вокругъ Солнца, какъ показываетъ стрѣлка, J Юпитеръ, сопровождаемый спутникомъ, и въ свою очередь, медленно движущійся вокругъ Солнца, такъ что Земля успѣваетъ сдѣлать цѣлый оборотъ, когда Юпитеръ проходитъ съ небольшимъ 30° . Юпитеръ бросаетъ тѣнь, въ которую первый спутникъ T погружается при каждомъ оборотѣ, приблизительно черезъ $42\frac{1}{2}$ часа.

„Допустимъ, рассуждалъ Рёмеръ, что наблюдатель видѣлъ перваго спутника во время его выходненія изъ тѣни въ точкѣ T' , при положеніи Земли въ E , около второй квадратуры Юпитера *), и что потомъ, спустя

*) То-есть когда линія проведенная отъ Солнца къ Землѣ и Юпитеру дѣлаетъ между собою уголъ около 90° , и Земля удаляется отъ Юпитера.

42 $\frac{1}{2}$ часа, то-есть послѣ одного обращенія спутника, когда земля находится въ Z,—онъ увидѣлъ вновь его выходение. Очевидно, что если свѣтъ требуетъ нѣ-



Фиг. 393.

котораго времени для прохожденія пространства KZ, то возвращеніе спутника въ T' будетъ видно позже, чѣмъ какъ было бы, еслибы Земля находилась постоянно въ K. Такимъ образомъ обращеніе спутника, наблюдаемое посредствомъ *выхожденій* его изъ тѣни, будетъ замедляться на такое время, какое свѣтъ употребляетъ для прохожденія отъ K къ Z. Напротивъ того, въ другой квадратурѣ, гдѣ Земля, *приближаясь*, идетъ отъ K' къ Z', навстрѣчу свѣту, наблюдаемая *погруженія въ тѣнь* (выхожденія не видны), покажутся происходящими одно за другимъ настолько же быстрее, на сколько выходения казались замедленными. А такъ какъ въ 42 $\frac{1}{2}$ часа, которые приблизительно спутникъ употребляетъ для каждаго своего обращенія, разстояніе между Землею и Юпитеромъ, въ первой и второй квадратурѣ, измѣняется по крайней мѣрѣ на 210 земныхъ діаметровъ, то отсюда слѣдуетъ что еслибы для прохожденія земнаго діаметра потребна была секунда времени, то свѣтъ употребилъ бы 3 $\frac{1}{2}$ минуты для прохожденія каждаго изъ разстояній KZ, K'Z'; отчего между временами обращеній, изъ которыхъ одно было бы наблюдаемо у KZ, другое у K'Z', произошла бы

разность около 7 $\frac{1}{2}$ минутъ.* Наблюдения показали что не только такой значительной, но и вообще ощутительной разности не замѣчается. „Однако, настаивалъ Рёмеръ, отсюда еще не слѣдуетъ чтобы свѣтъ совсѣмъ не употреблялъ времени для распространенія, ибо, разсмотрѣвши дѣло ближе, можно убѣдиться что то что кажется неощутительнымъ для двухъ обращеній дѣлается очень значительнымъ при многихъ обращеніяхъ, взятыхъ вмѣстѣ, и что напримѣръ 40 обращеній, наблюдаемыхъ съ момента когда земля находится въ K, проходятъ чувствительно быстрее, чѣмъ 40 обращеній наблюдаемыхъ отъ K', въ какомъ бы мѣстѣ (своей орбиты) ни находился Юпитеръ“.

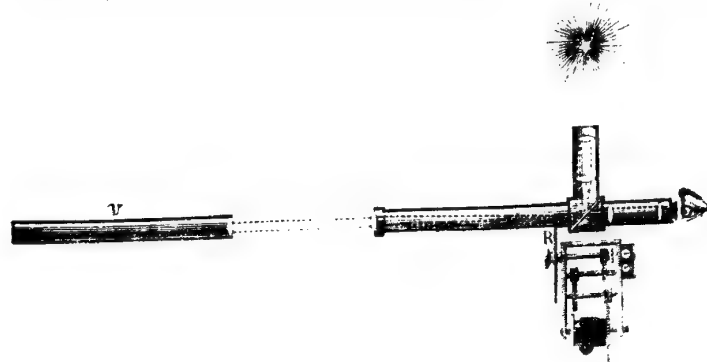
Такимъ образомъ, если въ эпоху когда Земля *приближается* къ Юпитеру опредѣлить съ точностію время между двумя послѣдовательными вхожденіями спутника въ тѣнь и рассчитать (принимая что время это остается, какъ того и требуютъ астрономическія соображенія, постояннымъ *) когда должно произойти какое-нибудь довольно отдаленное, напримѣръ, сороковое вхожденіе, то окажется что на самомъ дѣлѣ это сороковое вхожденіе наступитъ нѣсколькими минутами *ранѣе* рассчитаннаго срока. Наоборотъ, если сдѣлать подобное опредѣленіе относительно *выхожденій* спутника изъ тѣни, въ эпоху когда Земля *удаляется* отъ Юпитера, то предсказанное выходеніе наступитъ *позже* рассчитаннаго срока. „Рёмеръ, сказано въ *Мемуарахъ Академіи*, оправдалъ свою теорію всѣми наблюденіями, произведенными въ Королевской Академіи и на Обсерваторіи въ теченіе

*) То обстоятельство что Юпитеръ самъ движется около Солнца, вслѣдствіе чего направленіе тѣни послѣдовательно измѣняется, не измѣняетъ *постоянства* періода времени между двумя истинными погруженіями въ тѣнь или выходениями изъ нея. Періодъ этотъ становится только нѣсколько длиннѣе, чѣмъ какимъ былъ бы еслибъ Юпитеръ оставался на одномъ мѣстѣ.

восьми лѣтъ, и вновь она была подтверждена выхождениемъ перваго спутника, наблюдавшагося въ Парижѣ 9 ноября (1676) въ 5 часовъ 3 минуты и 45 секундъ вечера, десятию минутами позже, чѣмъ можно было ожидать, вычисляя этотъ моментъ помощью выхождений, которыя были наблюдаемы въ августѣ, когда земля была гораздо ближе къ Юпитеру, что г. Рёмеръ и предсказывалъ въ Академіи съ начала сентября“.

Слѣдующій примѣръ взятый изъ акустики можетъ пояснить разсужденіе Рёмера. Еслибы, на разстояніи нѣсколькихъ верстъ отъ наблюдателя, стрѣляли чрезъ каждую минуту изъ пушки, и онъ двигался бы, приближаясь къ мѣсту выстрѣловъ и проѣзжая, на примѣръ, по $\frac{1}{6}$ версты въ минуту, то онъ слышалъ бы каждый послѣдующій выстрѣлъ на $\frac{1}{2}$ секунды ранѣе, чѣмъ еслибы оставался на мѣстѣ (звукъ въ секунду проходитъ около $\frac{1}{3}$ версты). Восемнадцатый выстрѣлъ онъ услышитъ, слѣдовательно, не чрезъ 18 минутъ, а чрезъ 18 минутъ безъ 9 секундъ, то-есть на 9 секундъ ранѣе, именно ранѣе на то время какое звукъ употребляетъ дабы пройти $\frac{18}{6}=3$ версты, — разстояніе на какое приблизился наблюдатель. Подобнымъ образомъ видимыя погруженія и выхожденія спутника предваряются и запаздываютъ на то время какое свѣтъ употребляетъ чтобы пройти пространство на какое Земля въ данномъ случаѣ приблизилась къ Юпитеру или удалилась отъ него. Астрономія даетъ средство опредѣлить это пространство, а на основаніи его можно вычислить и самую скорость свѣта. Опредѣленіе Рёмера было не точно; послѣдующее, болѣе строгое, опредѣленіе дало для скорости свѣта громадную величину 290.000 верстъ или около 300 000 километровъ въ секунду. Отъ Солнца до Земли свѣтъ достигаетъ въ 8 м. 13 с.; отъ звѣздъ въ нѣсколько лѣтъ вѣковъ и болѣе.

Французскій ученый Физо *) въ 1849 году сдѣлалъ опредѣленіе скорости свѣта прямымъ опытомъ на земныхъ разстояніяхъ. Онъ остановился на мысли, что если очень быстро вращать колесо съ зубцами, — равными между собою и съ раздѣляющими ихъ промежутками, — то время какое каждый зубецъ употребитъ чтобы пройти промежутокъ отдѣляющій его отъ слѣдующаго будетъ очень мало, но вѣсть съ тѣмъ легко измѣримо. Если, на примѣръ, колесо дѣлаетъ 10 оборотовъ въ секунду, а пространство занимаемое каждымъ зубцомъ равно тысячной доли окружности, то это время будетъ $\frac{1}{40000}$ доля секунды. Пусть лучъ свѣта, пройдя чрезъ одинъ изъ промежутковъ колеса, отразится отъ зеркала, поставленнаго на далекомъ разстояніи, и опять вернется къ колесу. Несмотря на быстроту движенія свѣта, очевидно, можно дать колесу такую скорость, что возвращающійся свѣтъ встрѣтитъ зубецъ на томъ мѣстѣ гдѣ былъ промежутокъ, когда онъ проходилъ. Посылая такимъ образомъ постоянно свѣтъ чрезъ быстро смѣняющіеся промежутки къ зеркалу, можно достигъ того что, при извѣстной скорости колеса, возвращающіеся лучи, будучи задерживаемы зубцами, сдѣлаются невидимы наблюдателю стоящему за колесомъ, и появятся, если скорость переменится. Фиг. 394 даетъ понятіе о снарядѣ по-



Фиг. 394.

мощію какого Физо осуществилъ свою мысль. Лучи отъ лампы соединяются стеклами боковой трубки и, отразившись отъ прозрачной стеклянной пластинки *M*, соединяются въ одну точку, изъ которой расходятся далѣе, падаютъ на стекло трубы, поставленное такъ что эта точка приходится въ его фокусъ (наблюдателю они пока невидимы, такъ какъ пластинка отражаетъ лучи въ сторону противоположную мѣсту гдѣ находится глазъ). Изъ стороны противоположную мѣсту гдѣ находится глазъ параллельнымъ пучкомъ изъ стекла трубы лучи выходятъ параллельнымъ пучкомъ и

*) Членъ Парижской Академіи Наукъ; родился въ 1819 году.

продолжаютъ путь до другой трубы *v*, поставленной на разстояніи нѣсколькихъ верстъ (въ опытѣ Физо на разстояніи 8600 метровъ). Стекло трубы *v* собираетъ параллельные лучи въ своемъ фокусѣ, гдѣ стоитъ зеркало, отражающее ихъ по тому же пути, по какому они пришли. Возвратясь къ первой трубѣ, они вновь собираются въ фокусѣ ея стекла, откуда теперь расходятся уже по направленію къ наблюдателю и, пройдя чрезъ прозрачную пластинку *M*, попадаютъ въ его глазъ, который и видитъ предъ собою какъ бы маленькую звѣздочку. У точки гдѣ находится эта звѣздочка ставится упомянутое колесо *R* съ зубцами. Когда колесо получаетъ такую скорость что промежутки смѣняются зубцами именно въ продолженіе того времени какое свѣтъ употребляетъ чтобы отъ первой трубы пройти къ трубѣ *v* и вернуться назадъ, то возвращающійся свѣтъ будетъ всякій разъ встрѣчать препятствіе, и звѣздочка затмится для наблюдателя. При усиленіи скорости она снова появится, и опять затмится, если скорость сдѣлается вдвое больше. Число найденное Физо очень близко къ полученному помощію наблюденія затмений Юпитеровыхъ спутниковъ.

Такъ какъ свѣтъ требуетъ времени чтобы отъ свѣтящагося тѣла дойти до глаза наблюдателя, то каждая видимая гдѣ-либо въ пространствѣ перемѣна усматривается нами не въ тотъ моментъ какъ происходитъ, но спустя время употребленное свѣтомъ чтобы пройти пространство отдѣляющее насъ отъ мѣста происшествія. Такъ, бывають случаи сильнаго увеличенія блеска звѣзды въ короткое время. Въ маѣ 1866 года, напримѣръ, одна изъ маленькихъ звѣздъ созвѣздія Сѣверной Короны въ нѣсколько дней достигла блеска звѣзды второй величины. Катастрофа производшая такое явленіе произошла много лѣтъ, быть-можетъ, вѣковъ тому назадъ. Замѣтимъ, что изъ ученія о скорости свѣта не слѣдуетъ, какъ можно встрѣтить въ нѣкоторыхъ сочиненіяхъ, будто бы мы видимъ солнце на томъ мѣстѣ какое оно на сводѣ небесномъ занимало 8 и 13 с. тому назадъ, и что когда усматриваемъ его восходящимъ на горизонтъ, то уже прошло 8 и 13 с. послѣ дѣйствительнаго его восхожденія. Это не вѣрно, ибо не солнце движется, а земля вращается, и моментъ восхожденія есть переходъ наблюдателя чрезъ предѣлы освѣщеннаго и неосвѣщеннаго солнцемъ пространства, переходъ замѣчаемый въ тотъ самый моментъ какъ онъ происходитъ.

§ 283. Физическая теорія свѣта. Теорія истеченія. Для физическаго объясненія явленій свѣта Ньютонъ допускалъ что всѣ тѣла, когда они нагрѣты выше известнаго предѣла, испускають свѣтъ, сіяють^{*)}, и что такое испусканіе свѣта имѣетъ причину въ колебаніяхъ ихъ частицъ^{**)}, причемъ самый выходящій свѣтъ есть не иное что какъ „маленькія частички (особаго вещества) выбрасываемыя свѣтящимися тѣлами...

движущіяся равномерно, въ однородныхъ средахъ по прямымъ линіямъ... Прозрачныя тѣла на разстояніи дѣйствуютъ на лучи *) свѣта, преломляя, отражая, уклоняя ихъ. Лучи, въ свою очередь, на разстояніи, волнуютъ частицы тѣлъ, нагрѣвая ихъ... Лучи свѣта, падая на дно глаза, возбуждаютъ въ ретинѣ колебанія, распространяющіяся вдоль волоконъ зрительнаго нерва до мозга, возбуждая ощущеніе зрѣнія... Лучи разнаго рода производятъ колебанія разнаго величинны, возбуждая ощущеніе разныхъ цвѣтовъ^{*)}. Какъ необходимое слѣдствіе своей теоріи Ньютонъ вывелъ заключеніе, что свѣтъ въ средахъ болѣе преломляющихъ распространяется *быстрѣе*, чѣмъ въ средахъ менѣе преломляющихъ; въ водѣ, стеклѣ, напри-
мѣръ, быстрѣе чѣмъ въ воздухѣ. Прямые опыты, произведенные въ пятидесятыхъ годахъ нынѣшняго столѣтія французскими учеными Фуко и Физо, опровергли это заключеніе и доказали что свѣтъ въ водѣ движется *медленнѣе* чѣмъ въ воздухѣ. Теорія истеченія оказалась, слѣдовательно, несогласною съ опытомъ. Въ настоящее время общепринята другая теорія, основателемъ которой былъ Гюгенсъ и которая утверждена въ наукѣ трудами Юнга и Френеля^{**)}. Теорія эта именуется: *теоріей волненія*.

*) Выраженія: лучъ свѣта и частица свѣта равнозначительны у Ньютона. „Малѣйшая часть свѣта, говоритъ онъ, которая можетъ быть остановлена отдѣльно, можетъ отдѣльно распространяться или отдѣльно производить и испытывать нѣчто, независимо отъ остальнаго свѣта, есть то что называю лучемъ свѣта“.

**) Френель (Fresnel) французскій ученый, ученикъ Политехнической Школы, инженеръ, членъ Академіи, родился въ 1788. рано умеръ отъ чахотки, въ 1827. Знаменитъ изслѣдованіями о свѣтѣ; усовершенствовалъ маяки.

Юнгъ (Young), англійскій ученый, родился въ 1773, умеръ въ 1829. Былъ вполне исключительная натура. „*Душа* *мнѣ*“, говоритъ Араго въ біографіи Юнга, — уже умѣлъ было читать... отличался необыкновенною памятью, такъ что въ четыре года зналъ

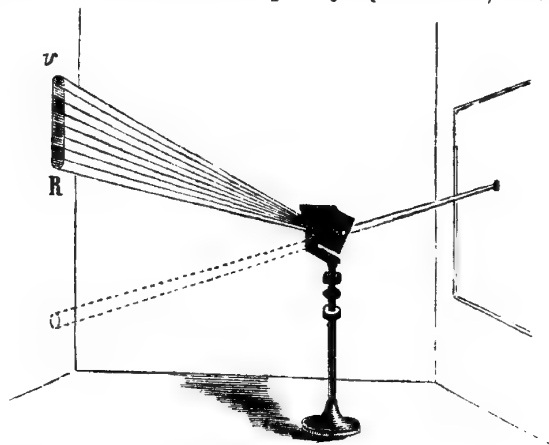
§ 284. Теорія волнообразнаго распространія свѣта въ эфирѣ. Теорія эта вытекла изъ размысленія объ очевидной аналогіи между явленіями свѣта и звука. „Звукъ, говоритъ Гюгенсъ, имѣетъ причину въ быстромъ сотрясеніи всего тѣла или значительной его части, волнуящемъ прикасающій воздухъ. Свѣтъ долженъ породиться малѣйшими частицами тѣла... быстрымъ-

наизусть значительное число англійскихъ авторовъ и даже нѣсколько латинскихъ поэтовъ, которые произносили съ начала до конца, хотя тогда и не понимали еще латинскаго языка... Отъ девяти до четырнадцати лѣтъ, изучая въ школѣ древнихъ классиковъ и занимая постоянно первое мѣсто въ классѣ, онъ успѣлъ въ то же время выучиться по-французски, по-итальянски, по-еврейски, по-персидски и по-арабски. Французскимъ и итальянскимъ языкомъ началъ заниматься чтобы удовлетворить любопытству своего пріятеля, который имѣлъ нѣсколько книгъ напечатанныхъ въ Парижѣ и желалъ узнать ихъ содержаніе; еврейскимъ, чтобы читать Библію въ подлинникъ; персидскимъ и арабскимъ, чтобы рѣшить вопросъ, сдѣланный однажды во время рекреации: есть ли между восточными языками такая же разница какъ между европейскими... Въ то же время онъ имѣлъ страсть къ ботаникѣ... и предпринялъ самъ устроить микроскопъ, руководясь описаніемъ, находящимся въ книгѣ Мартена; приобрѣлъ для этой цѣли лупу въ искусствѣ точенія, но пришелъ было въ большое смущеніе, встрѣтивъ въ алгебраическихъ формулахъ оптики непонятные символы (обозначеніе *флюидъ*). Не желая однако отказаться отъ наблюденія въ увеличенномъ видѣ песчинокъ и тучинокъ, нашелъ болѣе простымъ выучиться дифференціальному счисленію, чтобы понять несчастную формулу, чѣмъ послать въ сосѣдній городъ купить микроскопъ“. Его любимое правило было: всякій можетъ сдѣлать все что можетъ сдѣлать другой. Занимаясь медициной въ Единбургѣ, онъ въ короткое время достигъ того что могъ состязаться въ ловкости съ извѣстнымъ акробатомъ; а въ Геттингенѣ, гдѣ оставался девять мѣсяцевъ, приобрѣлъ замѣчательное умѣнье волтижировать на лошади. „Я увѣренъ, замѣчаетъ Араго, что изъ всѣхъ извѣстныхъ музыкальных инструментовъ не найдется двухъ на которыхъ бы Йонгъ не умѣлъ играть“. Геній Йонга оставилъ слѣды въ исторіи самыхъ разнообразныхъ отраслей чело-вѣческаго знанія. Творецъ ученія объ *интерференціи лучей*, онъ основатель современной теоріи свѣта, какъ волнообразнаго движенія; его пылливость одинаково привлекали чудеса свѣтоваго луча, трудные вопросы фیزیологіи зрѣнія, какъ и тайны египетскихъ іероглифовъ, которыхъ онъ былъ проницательнымъ истолкователемъ.

шимъ образомъ волнуемыми и толкающими частицы окружающаго ихъ эира, еще болѣе мелкія... Сотрясеніе частицъ производящее свѣтъ должно быть несравненно внезапнѣе и быстрѣе чѣмъ сотрясеніе звучащаго тѣла; свѣтъ не порождается трясеніемъ звучащаго тѣла, какъ звукъ не можетъ произойти отъ движенія руки въ воздухъ... Матерія въ которой распространяется свѣтъ—не та въ которой распространяется звукъ; послѣдняя не иное что какъ воздухъ“. Среда распространяющая свѣтъ есть болѣе тонкая форма матеріи, именуемая эфиромъ. Гюгенсъ допускалъ что, подобно тому какъ звучащее тѣло посылаетъ сжатые и разрѣженные волны, равномерно идущія въ воздухъ, свѣтящееся тѣло посылаетъ несравненно болѣе мелкія волны въ тончайшемъ эфирѣ, наполняющемъ какъ небесныя пространства, такъ и промежутки между частицами тѣлъ, именуемыхъ нами твердыми, жидкими и газообразными. Позднѣйшія изслѣдованія показали что способъ распространія звуковыхъ и свѣтовыхъ волнъ не одинаковъ. Слои воздуха распространяющіе звукъ качаются сближаясь или удаляясь. Слои эира, распространяющіе свѣтъ, быстро качаются перпендикулярно къ лучу, какъ бы скользя послѣдовательно одинъ по другому.

§ 285. Разнородность лучей свѣта доказываемая наблюденіями съ помощью призмъ. Открытія Ньютона. „Въ началѣ 1666 года, говоритъ Ньютонъ, въ то время какъ я занимался приготовленіемъ оптическихъ стеколъ иного вида чѣмъ сферическія, — я до-сталъ трехгранную стеклянную призму, для того чтобы съ нею изслѣдовать знаменитый феноменъ образованія цвѣтовъ. Для этого, устроивъ такъ чтобы въ моей комнатѣ было темно и сдѣлавъ въ ставнѣ моего окна небольшое отверстіе, чтобы впустить

въ комнату достаточное количество солнечнаго свѣта, я установилъ мою призму (фиг. 395) такъ, что



Фиг. 395.

прошедшіе лучи дали изображеніе солнца на противоположной стѣнѣ.⁴ Еслибы призмы не было, то проникшіе чрезъ малое отверстіе лучи дали бы круглое изображеніе солнца внизу стѣны (какъ означено пунктиромъ). Вслѣдствіе же преломленія въ призмѣ, лучи отклоняются къ ея основанію, и изображеніе перемѣщается вверхъ. Оно является, кромѣ того, окрашеннымъ радужными цвѣтами. Именуется *спектромъ*. Ньютонъ различилъ въ немъ семь цвѣтовъ: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фіолетовый *).

* Ньютонъ при этомъ руководствовался отчасти желаніемъ провести аналогію между семью нотами гаммы и цвѣтами. Гальмгольдъ полагаетъ что въ спектръ можно различить десять цвѣтовъ. Прибавимъ что въ опытъ Ньютона разстояніе изображенія отъ отверстія равнялось 22 футамъ; призма помещалась у самаго отверстія (фиг. 396) наибольшая длина спектра была равна $13\frac{1}{4}$ дюймамъ; его ширина $2\frac{1}{4}$ дюймамъ; діаметръ отверстія $\frac{1}{4}$ дюйма; уголъ, который образовали лучи идущіе по направленію самой середины изображенія, съ направленіемъ по которому они должны бы были идти безъ преломленія, равнялся $44^{\circ} 56'$; преломля-

Дѣйствіе призмы, разлагающее бѣлые лучи на цвѣтные (путь цвѣтныхъ лучей отъ призмы до экрана легко прослѣдить помощью пылинокъ носящихся въ воздухѣ) называется *раздробленіемъ свѣта*.

При этомъ призму Ньютонъ ставилъ такъ что плоскость паденія пучка (точнѣе его центрального луча) была перпендикулярна къ ребру преломляющаго угла, и производимое отклоненіе было наименьшимъ. Положеніе наименьшаго отклоненія находилось такъ: „Поворачивая медленно призму около ея оси, я видѣлъ (говоритъ Ньютонъ) что пролагающійся на стѣну преломленный свѣтъ, то-есть окрашенное изображеніе солнца, сперва понижался, потомъ начиналъ восходить. Между такимъ пониженіемъ и восхожденіемъ, во время когда изображеніе казалось остановившимся, я останавливалъ призму и утверждалъ ее неподвижно. Въ этомъ положеніи преломленіе свѣта при двухъ сторонахъ преломляющаго угла, то-есть при входѣ въ призму и при выходѣ изъ нея, одинаково“.

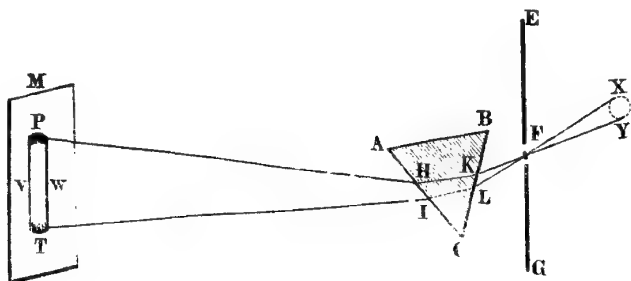
„Сначала, продолжаетъ Ньютонъ, было для меня очень пріятною забавой видѣть такимъ образомъ происшедшіе яркіе и сильные цвѣта, но наблюдая явленіе съ большимъ тшаніемъ, я къ моему удивленію замѣтилъ что изображеніе представляется продолговатымъ, тогда какъ по законамъ преломленія оно должно бы было имѣть видъ круглый. Это изображеніе кромѣ того было ограничено по бокамъ прямыми линіями, на концахъ же уменьшеніе свѣта было такъ постепенно, что трудно было въ точности опредѣлить какой они имѣли видъ; впрочемъ они казались полукруглыми.“

„Сравнивая длину спектра съ его шириной, я нашелъ что первая была въ пять разъ болѣе

юшій уголъ призмы былъ $63^{\circ} 12'$. Углы при входѣ въ призму и при выходѣ изъ нея, были сдѣланы по возможности равными, и именно около $54^{\circ} 4'$. Вычитая діаметръ отверстія изъ длины и ширины изображенія, остается для длины пространства заключеннаго лучами проходящими чрезъ центръ отверстія 13 дюймовъ, для его ширины $2\frac{1}{4}$ дюйма, и потому уголъ отъ отверстія стискиваемый этою шириною равнялся приблизительно $31'$, что соответствовало видимому діаметру солнца; уголъ же стискиваемый длиною изображенія былъ болѣе чѣмъ въ пять разъ болѣе этого діаметра, именно $2^{\circ} 49'$.

последней. Эта несоразмерность показалась мне так велика, что меня побудило больше чем обыкновенное любопытство исследовать откуда она происходит⁴.

Ньютон убедился прежде всего что такое удлинение солнечного изображения нельзя объяснить, если принять что все лучи падающего на призму пучка имеют одинаковую преломляемость (то-есть что для каждого из них синус угла преломления составляет одинаковую долю синуса угла падения и следовательно показатель преломления одинаков для всего пучка). Действительно, при одинаковой преломляемости, пучок параллельных лучей и по отклонении призмой остался бы таковым же (ибо каждый луч претерпел бы одинаковое преломление); а пучок



Фиг. 396.

лучей слабо расходящихся не мог бы значительно изменить свою расходимость. Таким образом пучок лучей образующих тонкий конус с отверстием в полградуса (а таков именно пучок солнечных *) лучей XFY проникающих (фиг. 396) в комнату чрез малое отверстие, если рассматривать отверстие как одну точку F) и по выходе из призмы представить бы приблизительно ту же расходимость в полградуса: отклоненное изображение солнца не могло бы значи-

⁴) Видимый диаметр солнца имеет величину около $31'$.

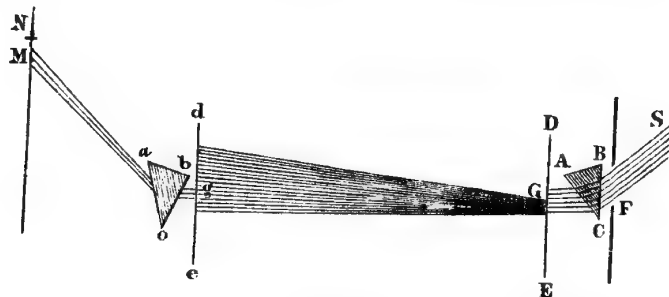
тельно отличаться от прямого, падающего без прохождения чрез призму, то-есть осталось бы почти круглым.

Точный разбор пути лучей, графически или помощью вычисления, указывает что в особенности при положении призмы в minimum отклонения расходимость лучей и форма изображения должны бы остаться без всякого заметного изменения. При других положениях, изменение было бы далеко не так значительно как показывает опыт даже при minimum отклонения. Ньютон подтвердил это новым опытом, обращая призму немного около оси в одну и другую сторону, так чтобы ее наклонение к падающим лучам изменилось больше чем на 4 или 5 градусов. Оказалось что цвета не переменили значительно своего места на стене, и следовательно этим разнообразием падения количество преломления не изменялось значительно. Из этого опыта, как и из вычисления, очевидно следовало что разность падения лучей исходящих из различных точек солнца не могла произвести того действия, чтобы лучи после преломления образовали бы между собою больший угол, чем тот под которым они расходились до вступления в призму; а так как этот угол не мог быть больше $31'$ или $32'$ минут, то оставалась все-таки какая-то другая причина, которая дала его равным $2^\circ 49'$.

Чтобы устранить противоречие между теорией и опытом, Ньютон допустил следующие положения: 1) лучи образующие пучок солнечного света имеют не одинаковую преломляемость; 2) лучи различной преломляемости возбуждают в нашем глазе ощущение разных цветов: наименее преломляющиеся — ощущение красного цвета, наиболее преломляющиеся — фиолетового. Ощущение белого цвета есть ощущение сложное, происходящее от совокупного действия цветных лучей, смешанных в известной пропорции. 3) Тела освещенные белым светом представляются разного цвета потому что отражают преимущественно некоторые из цветных лучей белого пучка, поглощая остальные. Вследствие поглощения же являющаяся цвета в свете прошедшем чрез цветные стекла или иные прозрачные цветные среды.

§ 286. Прямое доказательство различной преломляемости цветных лучей. Справедливость основного положения о

разной преломляемости лучей Ньютонъ доказалъ слѣдующимъ рѣшительнымъ опытомъ (*experimentum crucis*). Онъ пропустилъ чрезъ довольно широкое отверстіе въ ставнѣ (фиг. 397) пучокъ солнечныхъ лучей и помѣстивъ, на пути его призму, сзади ея поставилъ доску съ малымъ отверстіемъ. Образовавшійся спектръ принялъ на вторую доску, поставленную отъ первой на разстояніи



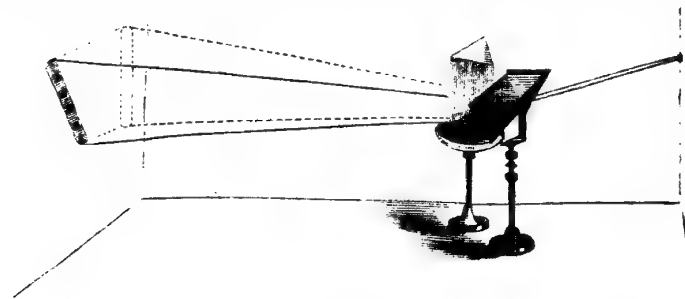
Фиг. 397.

двѣнадцати футовъ. Вторая доска, въ свою очередь, имѣла малое отверстіе около середины изобразившагося на ней спектра, такъ что часть падающихъ лучей могла чрезъ него пройти *). Потомъ, продолжая Ньютонъ, я поставилъ за этою доской другую призму, такъ чтобы свѣтъ проходящій чрезъ обѣ доски могъ пройти также чрезъ нее, и преломился бы еще разъ прежде чѣмъ дошелъ до стѣны. Устроивъ все такимъ образомъ, я взялъ первую призму въ руки и сталъ тихо обращать ее вокругъ оси въ обѣ стороны, такъ чтобы разныя части изображенія бросаемаго на вторую доску проходили постепенно чрезъ отверстіе сдѣланное въ ней, и я могъ бы наблюдать гдѣ онъ изображается на стѣнѣ послѣ преломленія второю призмой. Тогда я могъ видѣть, — по различію мѣстъ, какія занимали эти

*) Малое отверстіе помѣщенное за призмой должно давать спектральное изображеніе солнца точно такъ же какъ еслибы было (подобно какъ въ первомъ опытѣ) *передъ* призмой. Призма, отклоняя лучи къ своему основанію, даетъ мнимое изображеніе солнца и явленіе происходитъ такъ какъ еслибы чрезъ отверстіе проникали лучи отъ свѣтила помѣщенного ближе къ горизонту чѣмъ дѣйствительное солнце. Ньютонъ помѣщалъ отверстіе за призмой для того чтобы лучи, проходя чрезъ два неизмѣняемыхъ отверстія, падали на призму, остававшуюся неподвижною, всегда подъ однимъ и тѣмъ же угломъ, и разность отклоненія зависѣла исключительно отъ разницы въ показателяхъ преломленія различныхъ цвѣтныхъ лучей.

части на стѣнѣ, — что лучи края изображенія наиболѣе отклоненнаго первою призмой были преломляемы и второю призмой гораздо сильнѣе чѣмъ тѣ которые направлялись къ другому концу изображенія (красные). Такимъ образомъ истинная причина продолговатости изображенія оказалась не иная какъ та, что каждый бѣлый лучъ состоитъ изъ нѣсколькихъ лучей различно преломляемыхъ, которые, совершенно независимо отъ различія ихъ угла паденія, сообразно ихъ степени преломляемости, изображаются на различныхъ мѣстахъ стѣны.

§ 287. Опытъ съ перекрестными призмами. Ньютонъ въ опытѣ съ *перекрестными призмами*, далъ весьма наглядное доказательство различной преломляемости цвѣтныхъ лучей. Пропустивъ лучи чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ, какъ въ первомъ опытѣ, онъ поставилъ вторую призму непосредственно за первую, но такъ чтобы онѣ перекрещивались, то-есть, если первая поставлена преломляющимъ ребромъ горизонтально, то ребро второй должно быть вертикально (фиг. 398). Еслибы первая призма была одна, на экранѣ получился бы вертикальный спектръ. Дѣйствіемъ второй призмы онъ отклоняется въ бокъ. При этомъ ширина изображенія не измѣняется отъ преломленія во второй призмѣ, но верхняя, фіолетовая, часть лучика, которая въ первой призмѣ испытала наибольшее преломленіе, преломляется и второю сильнѣе чѣмъ красная нижняя. Вслѣдствіе такого преобладающаго удаленія верхняго конца, спектръ изъ верти-



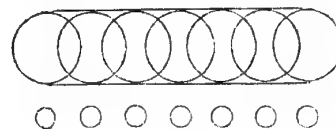
Фиг. 398.

кальнаго сдѣлался наклоннымъ, какъ видно на чертежѣ. Свидѣтельствуя о разной преломляемости лучей разнаго цвѣта, опытъ этотъ вмѣстѣ съ тѣмъ указываетъ, что цвѣтные лучи полученные отъ перваго преломленія новымъ преломленіемъ не раздробляются болѣе, а сохраняютъ свой цвѣтъ.

§ 288. Объясненіе происхожденія спектра. Чистый спектръ. Различною преломляемостію лучей, доказанною приведенными опытами, происхожденіе спектра объясняется вполне. Еслибы всѣ лучи были одинаковой преломляемости, то изображеніе было бы призмой только перенесено въ другое мѣсто, но осталось бы бѣлымъ и сохранило бы свою форму. Но такъ какъ лучи имѣютъ разную преломляемость, то происходитъ ихъ раздробленіе: лучи каждой преломляемости даютъ свое соотвѣтственное изображеніе; изъ сопоставленія такихъ изображеній и складается спектръ. Еслибы въ первоначальномъ пучкѣ были только красные и фіолетовые лучи, то спектръ состоялъ бы изъ двухъ изображеній: краснаго и фіолетоваго, раздѣленныхъ темнымъ промежуткомъ. Присутствующіе въ пучкѣ лучи среднихъ степеней преломляемости даютъ свои изображенія между этими двумя крайними. Изображенія соотвѣтствующія лучамъ разной преломляемости возбуждаютъ, согласно допущенію Ньютона, въ нашемъ глазѣ ощущенія разнаго цвѣта. Спектръ является потому цвѣтнымъ.

Такъ какъ цвѣта въ спектрѣ слѣдуютъ непрерывно, то должно допустить что нѣтъ замѣтныхъ скачковъ между показателями преломленія разныхъ системъ лучей составляющихъ бѣлый пучокъ. Впрочемъ отсутствіе лучей той или другой преломляемости до извѣстной степени маскируется тѣмъ обстоятельствомъ, что изображенія разнаго цвѣта отчасти смѣшиваются на экранѣ, ибо солнечный спектръ есть соединеніе ряда круговъ, освѣщенныхъ каждый въ от-

дѣльности однородными лучами, но отчасти входящихъ одинъ въ другой и чрезъ то смѣшанныхъ. „Еслибы можно было, замѣчаетъ Ньютонъ, уменьшить діаметръ этихъ круговъ, сохраняя неизмѣннымъ разстояніе ихъ центровъ и ихъ положеніе, то (фиг. 399) они смѣшивались бы менѣе, и раздѣленіе разнородныхъ лучей увеличилось бы въ томъ же отношеніи... Итакъ, чтобъ уменьшить смѣшеніе лучей, надлежитъ уменьшить діаметръ круговъ... Впустивъ въ темную комнату солнечный свѣтъ

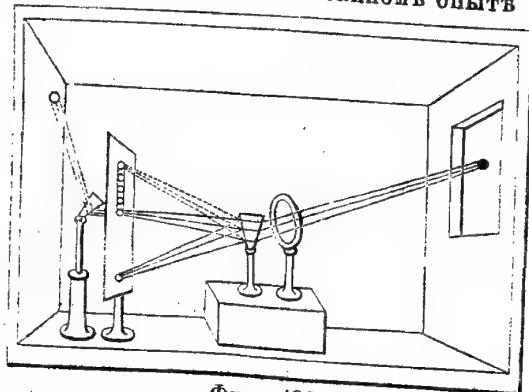


Фиг. 399.

чрезъ небольшое круглое отверстіе въ ставнѣ, я поставилъ въ разстояніи десяти или двѣнадцати футовъ отъ окна собирающее стекло, чрезъ которое отчетливое изображеніе отверстія могло быть проложено на листъ бѣлой бумаги, поставленный на шесть, восемь или двѣнадцать футовъ далѣе (смотря по употребляемому стеклу *). Такимъ образомъ въ этомъ опытѣ пролагалось и призмой перемѣщалось изображеніе не солнца (какъ въ первомъ) а отверстія, и лучи дававшіе изображеніе были, вслѣдствіе дѣйствія стекла, сходящимися... Непосредственно за стекломъ (фиг. 400 на слѣд. стр.) я поставилъ призму, которая дѣйствіемъ преломленія и отклоняла, вверхъ или въ бокъ, круглое изображеніе отверстія, преобразовывая его въ продолговатый спектръ. Круглыя изображенія, изъ какихъ складается спектръ, имѣли рѣзкое очертаніе, безъ всякой полутѣни, и такъ какъ они находили одно на другое

*) Вообще приблизительно на двойномъ фокусномъ разстояніи стекла.

наименѣе, то смѣшеніе разнородныхъ лучей было возможно малое... Можно было, уменьшивъ отверстіе, уменьшить по произволу и круги, сохраняя разстояніе ихъ центровъ. Этимъ способомъ я иногда дѣлалъ ширину изображенія въ сорокъ, даже въ шестьдесятъ и семьдесятъ разъ менѣе длины. Еще лучше вмѣсто круглаго отверстія употреблять четверугольную щель параллельную призмѣ.* Въ послѣднемъ случаѣ спектръ представлялся въ видѣ длинной четверугольной полосы. Но и такой сравнительно чистый спектръ не обнаружилъ перерывовъ при переходѣ отъ одного цвѣта къ другому. Фиг. 400, представляющая снимокъ съ оригинальнаго рисунка Ньютона*), даетъ понятіе объ описанномъ опытѣ съ чис-



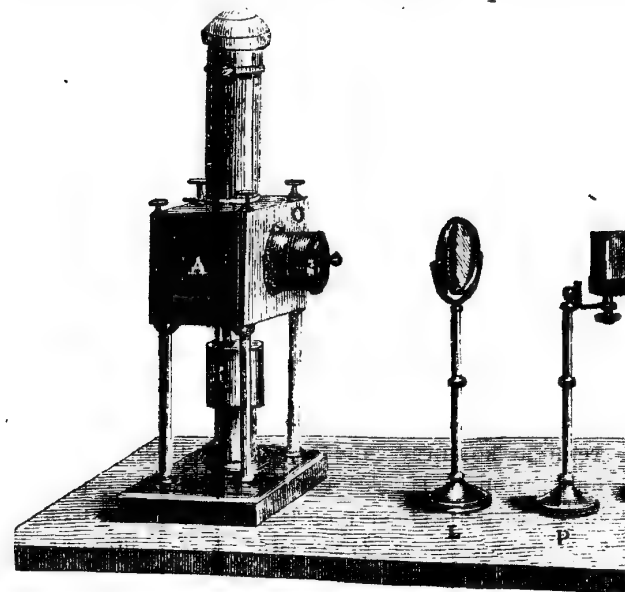
Фиг. 400.

тымъ спектромъ, и кромѣ того изображаетъ опытъ доказывающій что призматическіе цвѣта новымъ преломленіемъ не разлагаются.

§ 289. Спектръ электрическаго свѣта и другихъ источниковъ. Чтобы обнаружить разложеніе пучка лучей

* Рисунокъ этотъ былъ, — съ надписаніемъ: *non variat lux fracta* соловѣт, — присланъ Ньютономъ въ Женеву его пріятелю Арланду и хранится въ тамошней публичной библіотекѣ. Снимокъ заимствованъ нами изъ нѣмецкаго изданія сочиненія римскаго астронома Секки *Солнце*.

не прибѣгая къ сочному свѣту, а пользуясь искусственными источниками, — электрическимъ свѣтомъ, лампой и т. п., пользуются методомъ подобною той какую Ньютонъ употреблялъ для полученія чистаго спектра. Если бы, — поставивъ діафрагму съ малымъ отверстіемъ предъ отверстіемъ фонаря, заключающаго въ себя уголь электрическаго регулятора или пламя лампы, — мы прямо приняли проходящіе лучи на призму, то получили бы на экранѣ болѣе или менѣе неотчетливое изображеніе углей или пламени съ цвѣтными коймами, но не имѣли бы спектра подобнаго солнечному. Чтобы получить правильный спектръ — предъ отверстіемъ діафрагмы ставятъ собирающее стекло, которое дало бы отчетливое изображение отверстія на опредѣленномъ разстояніи. За



Фиг. 401.

стекломъ ставится призма, которая и перемѣщаетъ изображеніе, раздѣляя его на цвѣтныя составныя ча-

сти. Въмсто круглой формы предпочтительнѣе дать отверстію форму щели параллельной ребру призмы. Спектръ представится въ видѣ широкой четырехугольной радужной полосы. Расположеніе опыта видно на фиг. 401, представляющей фонарь Дюбоска съ регуляторомъ, стекло и призму.

§ 290. Субъективный спектръ. Метода наблюденія Фраунгофера. Фраунгоферовы линіи. Ихъ употребленіе при опредѣленіи показателей преломленія. Спектръ наблюдаемый въ проложеніи на экранѣ именуется вообще *объективнымъ*; спектръ же наблюдаемый непосредственно глазомъ — *субъективнымъ*. Субъективный спектръ образуется если, помѣстивъ глазъ у одной изъ сторонъ призмы, станемъ наблюдать изображеніе узкой свѣтлой щели.

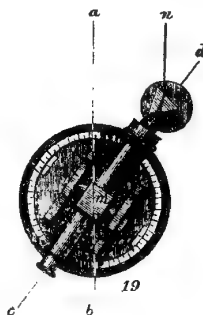
Пропустивъ въ темную комнату дневной свѣтъ чрезъ щель въ ставнѣ въ $\frac{1}{20}$ дюйма шириной и разматривая ее чрезъ призму изъ флинтъ-стѣкла на разстояніи 10 или 12 футовъ*, Вульстенъ въ 1802 г. нашелъ что полученный такимъ образомъ спектръ можно считать состоящимъ изъ четырехъ частей: красной, желто-зеленой, голубой и фиолетовой; онъ замѣтилъ вместе съ тѣмъ между предѣлами цвѣтовъ, а отчасти и въ самыхъ цвѣтахъ, нѣсколько темныхъ поперечныхъ полосъ.

Наблюдая непосредственно глазомъ, можно получить субъективный спектръ несравненно болѣе чистый чѣмъ какой объективно пролагается на экранѣ. Фраунгоферъ (1814) для этой цѣли помѣщалъ призму предъ объективомъ зрительной трубы, угловыя отклоненія которой можно было измѣрить помощью раздѣленнаго круга (фиг. 402). Солнечный свѣтъ пропускался въ темную комнату чрезъ узкую щель въ ставнѣ.. Труба съ призмой изъ флинта (уголъ которой былъ около 60°) ставилась на разстояніи 24 футовъ отъ ставни*). Призма предъ объективомъ помѣщалась такъ

*) Если помѣстить щель въ фокусѣ нѣкотораго собирающаго стекла (для этого пользуются трубой въ которой окуляръ замѣняютъ диафрагмой съ прорѣзомъ или щелью), то стекло какъ бы удалить ее на безконечное разстояніе и не будетъ надобности зрительную трубу съ призмой ставить далеко.

что уголъ падающаго луча равнялся углу выходящаго (minimum отклоненія).⁴ Наблюдая спектральное изображеніе Фраунгоферъ сдѣлалъ слѣдующее важное открытіе. Онъ замѣтилъ на протяженіи спектра „почти безчисленное множество сильныхъ и слабыхъ вертикальныхъ полосъ, болѣе темныхъ чѣмъ остальные части спектра; нныя казались совершенно черными“. Окуляръ надо при этомъ слегка переставлять, чтобы съ ясностію различать эти линіи при переходѣ отъ одного цвѣта къ другимъ. Это такъ-называемыя *Фраунгоферовы линіи* или *полосы*. Онѣ свидѣтельствуютъ объ отсутствіи въ солнечномъ пучкѣ лучей опредѣленныхъ преломляемостей. Ихъ обозначаютъ буквами *A, B, C* и т. д. Нѣкоторыя изображены на фиг. 403. Онѣ имѣютъ большое значеніе при точномъ опредѣленіи показателей преломленія различныхъ лучей спектра.

Такъ какъ лучи разнаго цвѣта преломляются не одинаково, то при опредѣленіи показателя преломленія какого-нибудь вещества должно имѣть въ виду о какого рода лучахъ идетъ дѣ-



Фиг. 402.



Фиг. 403.

ло. Но еслибы мы характеризовали изслѣдуемый лучъ его цвѣтомъ, то еще осталась бы неопредѣленность, ибо въ спектрѣ лучи какого-нибудь даннаго цвѣта занимаютъ довольно широкую

полосу, представляя незамѣтные переходы отъ одного къ другому. Потому, для болѣе точнаго обозначенія, условились опредѣлять показатель преломленія не того или другаго цвѣта, а той или другой Фраунгоферовой линіи.

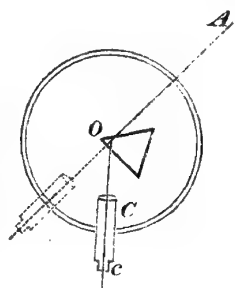
Самое опредѣленіе дѣлается помощью призмы на основаніи слѣдующихъ соображеній. Въ § 248 приведены четыре уравненія опредѣляющія ходъ луча даннаго показателя преломленія n черезъ призму. Эти уравненія суть:

$$(1) \sin i = n \cdot \sin r; (2) \sin i' = n \cdot \sin r';$$

$$(3) A = r + r'; (4) \Delta = i - r + i' - r',$$

гдѣ Δ уголъ отклоненія луча (FOD на фиг. 316). Чтобы воспользоваться этими уравненіями для опредѣленія показателя n

должно обратить вниманіе на то, какіе изъ входящихъ въ нихъ величинъ могутъ быть удобно опредѣлены опытомъ. Таковы величины A и Δ . Первая — уголъ призмы подлежащій прямому измѣренію. Отклоненіе Δ измѣряютъ, опредѣляя уголъ между двумя направленіями трубы (фиг. 404), однимъ когда черезъ нея прямо смотрятъ на отдаленный предметъ A ; другимъ когда наблюденіе производится черезъ призму O . Что касается до угловъ i, r, i', r' то опредѣлить ихъ опытомъ было бы весьма трудно. Потому, кромѣ искомой величины n , остаются еще четыре неизвѣстныхъ, а такъ какъ всѣхъ уравненій четыре, то разрѣшеніе невозможно безъ какого-нибудь новаго условія. Такихъ условій можно избрать два: или 1) чтобы призма была въ положеніи *minimum отклоненія*; тогда, какъ уже было упоминаемо, $i = i', r = r'$, и слѣдовательно уравненія будутъ: $\sin i = n \cdot \sin r; A = 2r, \Delta = 2(i - r) =$



Фиг. 404.

$$2i - A, \text{ откуда } n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin (\Delta/2 + A/2)}{\sin A/2};$$

или 2) чтобы лучъ на первую сторону призмы падалъ перпендикулярно. Тогда $i = r = 0; \sin i = n \cdot \sin r'; A = r'; \Delta = i' - r' = i' - A$, откуда $n = \frac{\sin i'}{\sin r'} = \frac{\sin (\Delta + A)}{\sin A}$.

§ 291. Цвѣтныя коймы при наблюденіи предметовъ черезъ призму. При наблюденіи предметовъ черезъ призму лишь переходы отъ свѣта къ тѣни представляются въ видѣ радужныхъ коймъ; широкія бѣлыя поверхности остаются бѣлыми. Строго говоря призма, вмѣсто одной бѣлой поверхности, кажетъ глазу семь ея цвѣтныхъ изображеній; изъ которыхъ, если, на примѣръ, призма

поставлена ребромъ кверху, красное находится въ фіолетовое выше остальныхъ. Но такъ какъ поперечность широкая, то эти семь изображеній въ значительной части совпадаютъ между собою и выступаютъ одно изъ другаго лишь при краяхъ, которые и представляются радужными. Знаменитый германскій поэтъ Гёте, посмотрѣвъ черезъ призму на бѣлую стѣну, ждалъ увидѣть ее окрашенною и въ томъ что она представляется бѣлою ошибочно думалъ видѣть опроверженіе теоріи о цвѣтахъ Ньютона. Въ случаѣ спектра на экранѣ, если станемъ расширять доставляющую лучи щель, то замѣтимъ что середина спектра сдѣлается бѣлою, коймы же останутся лишь при краяхъ, одна съ преобладаніемъ синняго, другая краснаго цвѣта. Отсюда слѣдуетъ, что если вмѣсто щели имѣемъ одинъ край, то онъ покажется съ цвѣтною, синею или красною, коймою, смотря по тому какой сторонѣ спектра онъ соответствуетъ. Наконецъ, темная полоса на бѣломъ фонѣ даетъ коймы обратныя тѣмъ какія даетъ бѣлая на темномъ фонѣ.

Такъ какъ при преломленіи черезъ пластинку съ параллельными стѣнками лучи выходятъ параллельно ихъ начальному направленію, и отдаленные предметы кажутся вовсе не перемѣщенными, а близкіе перемѣщенными незначительно, то въ этомъ случаѣ цвѣтныхъ коймъ не замѣчается. Предметы представляются также безъ всякихъ коймъ въ случаѣ полнаго внутренняго отраженія въ равносторонней призмѣ.

§ 292. Значеніе цвѣтовъ съ точки зрѣнія теоріи волненія. „Ничто, говоритъ Эйлеръ *), такъ не способно

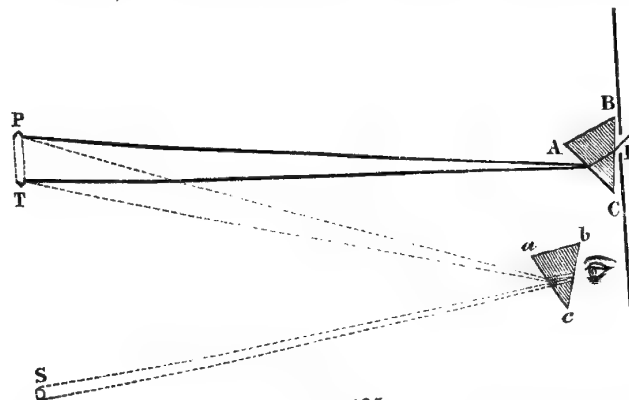
*) Знаменитый математикъ, родившійся въ Базелѣ въ 1707; въ 1727 году, по приглашенію математиковъ Бернулли, вступилъ адъюнктомъ въ Петербургскую Академію Наукъ, которую покинулъ въ сороковыхъ годахъ, переселившись въ Берлинъ, но сохраняя самыя доброжелательныя отношенія къ Академіи и къ Россіи. Въ 1766 году вновь переехалъ въ Петербургъ, по приглашенію императрицы Екатерины. Последніе годы жизни были слѣпой.

разъяснить намъ природу свѣтовыхъ ощущеній какъ прекрасная аналогія между зрѣніемъ и слухомъ. Какое значеніе по отношенію къ уху имѣютъ различные тоны музыки, такое для глаза имѣютъ различные цвѣта. Цвѣта разнятся между собою подобнымъ образомъ какъ разнятся одни отъ другихъ высокіе и низкіе тоны. Но мы знаемъ что высота въ области звука зависитъ отъ числа колебаній дѣйствующихъ на ухо въ продолженіе опредѣленнаго времени и что природа каждаго звука опредѣляется числомъ колебаній въ секунду. Отсюда можно заключить что каждый цвѣтъ соотвѣтствуетъ также опредѣленному числу колебаній, дѣйствующихъ на глазъ. Разница въ томъ что дрожанія производящія звукъ пребываютъ въ грубомъ воздухѣ, тогда какъ свѣтъ и цвѣта передаются чрезъ среду несравненно болѣе тонкую и упругую (эфиръ)⁴. Число колебаній увеличивается, а длина соотвѣствующихъ свѣтовыхъ волнъ уменьшается отъ краснаго цвѣта къ фіолетовому. Длина волны краснаго цвѣта равняется приблизительно 640, желтаго 550, фіолетоваго 400 миллионнымъ долямъ миллиметра (или $\frac{1}{39000}$, $\frac{1}{46000}$, $\frac{1}{7500}$ дюйма). Принимая во вниманіе что скорость свѣта есть 290.000 верстъ (300 000 километровъ) въ секунду, можемъ опредѣлить число колебаній, раздѣливъ эту скорость на длину волны. Получимъ для краснаго луча громадное число 470 000 000 000 000. Для фіолетоваго еще большее — 700 000 000 000 000 колебаній въ одну секунду дѣйствующихъ на глазъ.

§ 293. Возстановленіе бѣлаго луча изъ цвѣтныхъ. Чтобы пополнить доказательство о составѣ бѣлаго пучка изъ цвѣтныхъ лучей, Ньютонъ, чрезъ соединеніе призматическихъ цвѣтовъ, возстановилъ бѣлый цвѣтъ, заставляя различными средствами падать на одно и то же мѣсто экрана всѣ призматическіе цвѣта

(отраженіемъ отъ вогнутого зеркала, соединеніемъ чрезъ стекло).

Субъективно (то-есть не на экранѣ, а наблюдая прямо глазомъ), Ньютонъ соединялъ цвѣтные лучи въ бѣлый лучъ, смотря чрезъ призму abc (фиг. 405), помѣщенную параллельно разлагающей призмы ABC , на спектръ TP проложенный на экранѣ. Вслѣд-



Фиг. 405.

ствіе преломленія призмой лучей идущихъ въ глазъ отъ мѣста гдѣ на экранѣ рисуется спектръ, спектръ этотъ покажется ниже свѣта, гдѣ-нибудь въ S . При этомъ красный концы T по-низится менѣе чѣмъ фіолетовый P , ибо фіолетовые лучи сильнѣе преломляются. Приближаясь и удаляясь съ призмой abc можно достигъ того что цвѣтныя изображенія составляющія спектръ, перемѣстившись, будутъ казаться на одномъ и томъ же мѣстѣ, и глазъ въ точкѣ S увидитъ, вмѣсто спектра, бѣлое пятно. „Если стать близко къ экрану то, при S будетъ видно спектральное изображеніе удлинненное и окрашенное какъ самый спектръ TP ; если удаляться, то цвѣта спектра S будутъ сближаться между собою и наконецъ исчезнутъ: спектръ при S сдѣлается бѣлымъ и круглымъ; если продолжать удаляться, то цвѣта появятся въ обратномъ порядкѣ.“

Простѣйшій приемъ для образованія бѣлаго изображенія чрезъ соединеніе цвѣтныхъ, вошедшій въ употребленіе вскорѣ послѣ Ньютона, представляетъ вращающійся дискъ (фиг. 406) раздѣленный на секторы окрашенные призматическими цвѣтами въ томъ порядкѣ и пропорціи какъ они находятся въ спектрѣ. При достаточной скорости вращенія, впечатлѣніи

смѣшиваются, и кругъ кажется бѣлымъ или по крайней мѣрѣ сѣроватымъ. Опытъ можно показать въ продолженіи, если вращающійся кругъ сдѣланъ прозрачный



Фиг. 406.

(например изъ слюды, окрашенной прозрачными красками). Помѣстивъ такой кругъ предъ отверстіемъ электрическаго фонаря, изображеніе его пролагаютъ собирающимъ стекломъ на экранъ, а кругъ приводятъ въ движеніе. Изображеніе кажется бѣлымъ.

§ 294. Цвѣтные лучи доставляемые цвѣтными средами и цвѣтными поверхностями. Цвѣта получаемые отъ раздробленія бѣлаго пучка призмой называются *простыми* и производящіе ихъ лучи *однородными*, такъ какъ новымъ преломленіемъ чрезъ призму они не раздробляются и вообще при всѣхъ оптическихъ перемѣнахъ (преломляясь, отражаясь, разсѣваясь) сохраняютъ свой цвѣтъ. Но, кромѣ призматическаго разложенія, цвѣтные лучи доставляются также 1) цвѣтными средами (какъ напримеръ лучи прошедшіе чрезъ цвѣтное стекло), 2) поверхностными цвѣтными предметами. При этомъ не должно думать что всякій цвѣтной лучъ есть однородный и доставляемый имъ цвѣтъ простой. Напротивъ того, наблюдаемые нами цвѣта въ боль-

шинствѣ случаевъ суть цвѣта *сложные*, хотя по дѣйствию на глазъ и не отличаются отъ простыхъ *). Такъ, напримеръ, можетъ быть простой красный цвѣтъ и можетъ быть красный цвѣтъ сложный, и оба между тѣмъ для глаза будутъ представляться совершенно одинаковыми. Чтобы рѣшить состоитъ ли данный цвѣтной пучокъ изъ однородныхъ лучей или есть смѣшеніе лучей разнородныхъ, необходимо прибѣгать къ призматическому разложенію. Такъ, пропуская свѣтъ чрезъ цвѣтные стекла (прикрывъ, напримеръ, щель фонаря пластинкой такого стекла) и разлагая прошедшій пучокъ призмой, обыкновенно получаемъ болѣе или менѣе полный спектръ съ преобладаніемъ того цвѣта какой имѣетъ стекло. Есть, впрочемъ, стекла пропускающія приблизительно однородные лучи. Таково для красныхъ лучей стекло окрашенное окисью мѣди. Если прикрыть такимъ стекломъ отверстіе въ ставнѣ или щель фонаря, то дѣйствіе призмы на прошедшіе красные лучи ограничится перемѣщеніемъ изображенія, безъ измѣненія формы и безъ раздробленія, то-есть какъ требуетъ теорія основанная на допущеніи что всѣ лучи пучка имѣютъ одинаковый показатель преломленія **).

Подобнымъ образомъ лучи идущіе отъ поверхности цвѣтныхъ тѣлъ въ большинствѣ случаевъ случаевъ суть также лучи не вполне однородные. Но въ случаѣ густой окраски, лучи даннаго цвѣта могутъ въ такой мѣрѣ преобладать надъ другими, что послѣдніе, при призматическомъ наблюденіи, могутъ остаться незамѣтными. Такъ, первый опытъ, описанный

*) Это важное обстоятельство необходимо имѣть въ виду что бы не затрудниться при усвоеніи началъ теоріи Ньютона и не вывести ошибочнаго заключенія, что всякій цвѣтной пучокъ есть совокупность лучей той преломляемости какая принадлежитъ простымъ лучамъ этого цвѣта.

**) Другіе простые цвѣта можно произвести: желтый — смѣсью растворовъ сѣрнистаго никкеля и двуххромикслаго кали, оранжевый — растворомъ сѣрнисиеродистаго потассія въ водѣ, индigo — сѣрнистою мѣдью съ углекислымъ аммоніакомъ (прибавивъ двуххромикслаго кали, получимъ зеленый).

Ньютономъ въ *Оптикѣ* для доказательства положенія что «лучи различающіеся цвѣтомъ различаются и преломляемостію», состоитъ въ томъ что онъ смотрѣлъ чрезъ призму на узкую полоску, которой одна половина окрашена была въ густой синій, другая въ густой красный цвѣтъ и которая была помѣщена на черномъ фонѣ. Поставивъ призму такъ что ребро ея было вверху и параллельно полоскѣ, Ньютонъ замѣтилъ что полоска представилась значительно выше своего мѣста и раздѣлилась на двѣ части, изъ конхъ голубая стояла выше красной, свидѣтельствуя о большей преломляемости синнихъ лучей сравнительно съ красными.

§ 295. **Образованіе сложныхъ цвѣтовъ изъ простыхъ.** Когда на то же мѣсто сетины падаютъ отъ одновременно лучи двухъ или многихъ степеней преломляемости, то происходятъ новыя цвѣтныя ощущенія, причемъ (какъ уже сказано) глазъ не даетъ намъ возможности различить изъ какихъ простыхъ цвѣтовъ состоитъ сложное ощущеніе. Само бѣлое ощущеніе можетъ быть составлено различными путями. Чтобы соединить простые цвѣта въ одномъ мѣстѣ на сетинѣ и производить сложныя цвѣтныя ощущенія можно 1) пользоваться вращающимся кругомъ (§ 294) раздѣленнымъ на части окрашенныя разными цвѣтами: вслѣдствіе сохраненія впечатлѣній произойдетъ слѣніе цвѣтовъ; 2) смотрѣть чрезъ наклонно поставленное прозрачное стекло на цвѣтную поверхность, помѣстивъ горизонтально предъ стекломъ поверхность другаго цвѣта, которая чрезъ отраженіе покажется на томъ же мѣстѣ гдѣ находится поверхность видимая *чрезъ* стекло (подобно какъ въ случаѣ театральнаго спектровъ); 3) оптическими средствами приводя въ совпаденіе различныя части спектра (отражая ихъ, напримѣръ, помощію отдѣльныхъ маленькихъ зеркалъ). Смѣшеніе различныхъ красокъ, то-есть мелкихъ порошковъ, также доставляетъ сложные цвѣта, но метода эта можетъ вестись къ ложнымъ заключеніямъ.

Опыты надъ соединеніемъ цвѣтовъ показываютъ: 1) что бѣлый цвѣтъ можетъ произойти не только отъ соединенія всѣхъ цвѣтовъ спектра, но и отъ соединенія *двухъ* только простыхъ цвѣтовъ. Такъ простой красный цвѣтъ въ соединеніи съ простымъ зеленомъ-голубымъ даетъ бѣлый цвѣтъ; также оранжевый съ синеватымъ, желтый съ синимъ. При смѣшеніи красокъ, какъ извѣстно, желтая съ синей даютъ зеленый цвѣтъ, а не бѣлый, но это зависитъ отъ того что цвѣтъ поверхности покрытой смѣсью порошочковъ желтой и синей красокъ зависитъ главнымъ образомъ отъ лучей выходящихъ изъ нѣкоторой глубины слоя, а въ такихъ лучахъ должны преобладать зеленые, ибо они пропускаются тѣми и другими порошочками, тогда какъ прочіе задерживаются либо тѣми, либо другими. 2) Не только бѣлый цвѣтъ, но и вообще *всѣ* оттѣнки цвѣтовъ могутъ быть образованы отъ смѣшенія въ надлежащей пропорціи

трехъ простыхъ цвѣтовъ, а именно красного, зеленого и фіолетоваго; 3) какъ мы уже видѣли, смѣшеніе всѣхъ цвѣтовъ спектра также даетъ бѣлый цвѣтъ. Вообще два цвѣта въ соединеніи образующіе бѣлый цвѣтъ именуются *дополнительными*.

Для объясненія происхожденія простыхъ и сложныхъ цвѣтныхъ ощущеній, Йонгъ, выходя отъ наблюденія Вульстена о четырехъ частяхъ (красной, желто-зеленой, голубой и фіолетовой) явственно выделяющихся въ спектрѣ узкой щели разсматриваемой чрезъ призму (§ 291) и принимая въ соображеніе что изъ соединенія желто-зеленаго съ фіолетовымъ можно получить голубой цвѣтъ, выразилъ гипотезу о *трехъ* основныхъ цвѣтныхъ ощущеніяхъ (красномъ, зеленомъ и фіолетовомъ *), которая, какъ показали изслѣдованія Гельмгольца, съ большою ясностію объясняетъ всѣ явленія въ области цвѣтовъ. Согласно этой теоріи, въ глазѣ есть три рода нервныхъ волоконъ (или точнѣе элементовъ). Раздраженіе первыхъ возбуждаетъ ощущеніе красного, вторыхъ зеленого, третьихъ фіолетоваго (по Максвеллу синяго) цвѣта. Лучи разной длины волны (разной преломляемости) дѣйствуютъ не одинаково на эти элементы. Лучи съ длинными волнами дѣйствуютъ главнымъ образомъ на элементы красного ощущенія, съ короткими—преимущественно на фіолетовые элементы; средней длины—на зеленые. Такимъ образомъ простой красный лучъ дѣйствуетъ сильно на красночувствующие элементы, слабо на два другіе рода и т. д. При усиленномъ дѣйствіи и послѣдніе достаточно возбуждены, цвѣтъ приближается къ бѣлому (это подтверждается опытомъ). Одно изъ важныхъ оправданій теоріи Йонга и Гельмгольца есть существованіе недостатка зрѣнія именуемаго дальтонизмомъ (Дальтонъ имѣлъ этотъ недостатокъ). Цвѣтныя ощущенія лицъ имѣющихъ дальтонизмъ сводятся къ двумъ основнымъ цвѣтамъ. Они не различаютъ, напримѣръ, вишень отъ листьевъ. Парализованы, какъ показываютъ изслѣдованія, элементы красного ощущенія.

§ 296. **Субъективные цвѣта.** Если пристально смотрѣть, въ продолженіе нѣкотораго времени, на цвѣтной предметъ, напримѣръ на красную облатку, синее изображеніе вазы и т. п. и потомъ перенести взоръ на бѣлую поверхность, то намъ покажется на ней изображеніе предмета въ дополнительномъ цвѣтѣ: зеленоватая облатка, желтоватая ваза и т. д. Величина вѣжущагося изображенія зависитъ отъ разстоянія на какомъ бѣлая поверхность находится отъ глаза. Вмѣсто того чтобы переносить взоръ, можно удалить предметъ (если онъ помѣщенъ на бѣломъ фонѣ): снять, напримѣръ облатку. На мѣстѣ

* Согласно згійскому ученому Максвеллу (1856) правильнѣе принять красный, зеленый и синій.

которое она занимала будет видимо ее изображение в дополнительном цвете. Явление объясняется утомлением глазного нерва, который, как и другие нервы, после продолжительного действия становится менее восприимчивым к ощущениям. То место сетины где рисуется изображение красной облатки становится мало чувствительным к действию красных лучей, и когда взор переносится на белую поверхность, и на это место падают белые лучи, глаз не различает их составную красную часть, с живостью ощущая остальные. Но если из белого пучка отнять красную часть, то совокупность остальных лучей произведет ощущение зеленоватого цвета, дополнительного до красного.

Что действием света первая оболочка глаза скоро утомляется, — можно подтвердить следующим опытом. Положив пред собою белую бумажную полоску и закрыв половину ее черною бумагой, будем, некоторое время, пристально смотреть на нее и потом снимем черную бумагу; вновь открывшаяся часть покажется значительно светлее той на которую мы уже смотрели некоторое время, так как место сетины принимающее изображение последней успело утомиться.

В случае яркого предмета субъективные изображения замечаются и при закрытых глазах. Если действие было кратковременно, то явление объясняется просто сохранением впечатлений, и предмет тогда представляется в своем цвете, а не в дополнительном. Если же глазной нерв утомился, то наблюдатель, закрыв глаза, видит дополнительное изображение. Явление зависит от общего раздражения нерва. Пусть действующие лучи были красные. Они, при значительном напряжении, раздражают элементы всех трех цветных ощущений, но утомление простирается преимущественно на красные, и когда глаза закрыты, в общем продолжающемся возбуждении красный цвет как бы отсутствует.

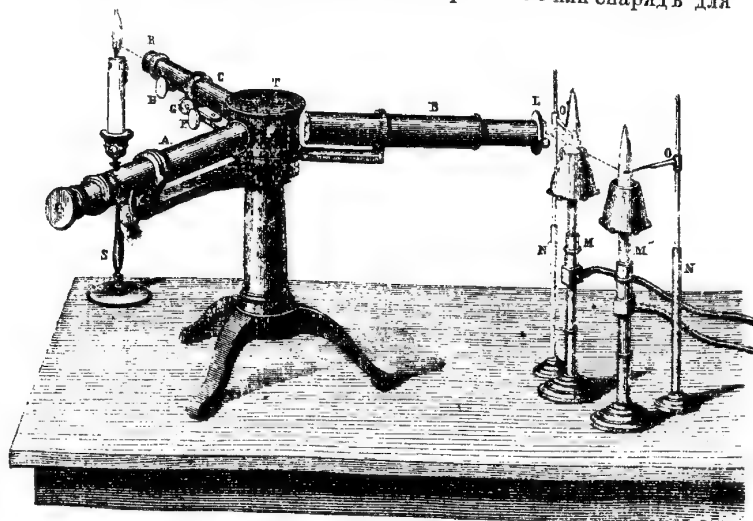
Наконец, есть субъективные цветные явления зависящие не от утомления глаза, но от иных причин, не довольно выясненных. Таковы явления контраста цветов вообще и в особенности так называемых *цветных теней*. Поместим рядом две бумажные цветные полоски, одну, например, желтую, другую красную, и на некотором расстоянии от первой другую желтую, от второй другую красную. Тогда как удаленные полоски покажутся с своими цветами, рядом лежащие обнаружат взаимное действие, и желтая покажется с зеленоватым оттенком: красная полоска как бы наведет на близ лежащую желтую свой дополнительный, зеленоватый, цвет; красная примет пурпуровый вид, от прибавления синего оттенка (дополнительного до желтого). Цветные тени замечаются, если, например, впустить в темную комнату немного дневного света и поместить пред белым экраном палку, осветить ее в то же время светом свечи или лампы.

Тень палки бросаемая дневным светом, будучи освещена пламенем лампы или свечи, имющим вообще оранжевый оттенок, покажется оранжевою, но тень от лампы освещенная белым дневным светом будет не срая, а голубая (дополнительного цвета к оранжевому). Еще рзче можно заметить цветные тени если поместить электрический свет в фонарь из цветных стекол, например зеленых (вообще пропустив яркий луч через цветное стекло) и бросить на экран тени от палки, освещенной в одно время лампою и электрическим светом. Тень палки от электрического света и тень самой лампы покажутся резко розовыми, хотя никакого розового источника освещения нет. Цветные тени главная причина затруднения при сравнении силы света двух источников не одинакового цветного оттенка (§ 223).

§ 297. Спектры разнаго рода. Спектральный анализ и его приложения. Изучение спектров доставляемых призматическим разложением лучей разных светящихся источников привело ко многим результатам чрезвычайной важности, нашедшим приложение в химии и астрономии. Оказалось что изучение помощью призмы лучей данного светящегося тела может доставить точные заключения о строении и составе этого тела. Вообще призматические спектры можно разделить на три рода. 1) Спектр первого рода есть спектр *непрерывный*, то-есть цветной на всем протяжении с незамечными переходами от одного цвета к другому. Таковы вообще спектры доставляемые раскаленными *твердыми* или *жидкими* телами: углем электрического фонаря, известковою или мыловою палочкой Друкмондова света, платиновою проволокой раскаленную гальваническим током, расплавленными металлами, мелкими пылинками угля в пламени свечи, газа и т. д.

2) Спектр второго рода есть спектр состоящий из отдельных цветных полос, разделенных темными промежутками. Такой спектр доставляют раскаленные *газы* или *пары*. Вводя в слабо светящееся пламя спиртовой лампы или газовой горелки Бунзена где газ сгорает при значительном притоке воздуха) различные вещества, например, соли натрия, лития, стронция и т. п., замечаем что пламя окрашивается. Наблюдая через призму узкое отверстие поставленное пред таким пламенем, увидим спектр из нескольких цветных полос. Особенно характеристичен спектр пламени окрашенного натрия (помощью, например, поваренной соли). Спектр этот состоит из одной желто-оранжевой полосы. Кусочки металлов, будучи помещаемы на нижний уголь электрического фонаря (уголь берется для этого опыта довольно толстый, с чайкообразным углублением) и обращаясь в пар, под влиянием сильного жара, в пространстве между углями, окрашивают дугу гальванического света и дают спектры состоящие из ярких цветных полос, характеристических для каждого

металла. Пропуская электрический разрядъ черезъ стеклянную трубку, изъ которой вытянуть воздухъ и гдѣ въ разрядномъ состояніи находится какое-либо газообразное вещество (такъ называемыя Гейслеровы трубки, по имени извѣстнаго мастера въ Боннѣ), замѣчаемъ что внутренность трубки становится свѣтящеюся. Анализуя свѣтъ этой призмой, получаемъ спектръ соответствующій заключающимся въ трубкахъ газообразнымъ тѣламъ, приведеннымъ электрическимъ токомъ въ раскаленное свѣтящееся состояніе. Спектръ металловъ можно также получить, анализуя призмой свѣтъ электрической искры извлекаемой изъ изслѣдуемаго металла. Прибавимъ что спектръ данного тѣла мѣняется въ зависимости отъ температуры и давления. Такъ какъ въ спектрѣ каждого тѣла находятся свои характеристическія полосы, то введя въ пламя горѣлки вещество неизвѣстнаго состава, можемъ, изучая линіи доставляемаго имъ спектра, опредѣлить его составъ. На этомъ основывается *спектральный химическій анализъ*, въ нѣкоторыхъ случаяхъ оказывающійся чрезвычайно чувствительнымъ (напримѣръ относительно натрія). Химическій спектральный анализъ позволилъ Бунзену открыть два новыхъ металла рубидій и цезій. Этимъ же путемъ англійскій ученый Круксъ (Crookes) открылъ металлъ талій, дающій яркую зеленую полосу. Фиг. 407 даетъ понятіе о *спектроскопѣ* или снарядѣ для



Фиг. 407.

призматическаго анализа. Лучи прошедшіе черезъ узкую щель трубки *LB* и преломленные призмой вступаютъ въ зрительную трубу *A*. Труба *C* имѣетъ на концѣ раздѣленную скалу освѣщен-

ную свѣчкой и видимую въ совпаденіи со спектромъ чрезъ трубу *A*, вслѣдствіе отраженія отъ передней поверхности призмы. Цифры скалы служатъ для опредѣленія положенія спектральныхъ полосъ.

3) Спектръ третьяго рода представляетъ собою радужную полосу, подобную спектру перваго рода, но усѣянную тонкими темными линіями. Чтобы линіи эти были замѣтны, спектръ долженъ быть достаточно чистымъ. Таковъ солнечный спектръ съ его фраунгоферовыми линіями. Кирхгофъ указалъ что значительная часть этихъ линій находятся на тѣхъ самыхъ мѣстахъ, гдѣ были бы свѣтлыя полосы, еслибы тѣмъ же спектральнымъ аппаратомъ разлагались лучи отъ раскаленнаго газообразнаго источника, заключающаго въ себѣ нѣкоторые металлы. Такъ, болѣе 400 темныхъ линій солнечнаго спектра соответствуютъ свѣтлымъ линіямъ спектра желѣза (богатаго такими линіями); семь свѣтлыхъ полосъ спектра мѣди, четыре полосы водорода, болѣе сотни титана и т. д. имѣютъ соответствующія *темныя* линіи въ солнечномъ спектрѣ. Для сравненія положенія полосокъ въ спектрѣ солнечномъ и спектрѣ различныхъ тѣлъ удобнѣе всего произвести одновременное наблюденіе двухъ спектровъ, заставивъ чрезъ одну часть щели проходить солнечные лучи, чрезъ другую лучи сравниваемаго источника. Происхожденіе темныхъ линій въ спектрѣ третьяго рода объясняется поглощеніемъ нѣкоторыхъ лучей свѣтящагося источника газообразными средами, чрезъ которыя эти лучи проходятъ. Происхожденіе и законъ такого поглощенія указаны Кирхгофомъ. "Чтобы прямымъ опытомъ провѣрить, говоритъ онъ, не разъ указанное совпаденіе полосы натрія съ полосой *D* солнечнаго спектра, я образовалъ солнечный спектръ умеренной яркости и помѣстилъ предъ щелью пропускавшаго лучи—пламя натрія. Я увидѣлъ что темная полоса *D* замѣнилась свѣтлою... Чтобы найти насколько можно усилить яркость солнечнаго спектра, не теряя изъ виду натріевую линію, я пропустилъ чрезъ натріево пламя въ щель снаряда полный солнечный лучъ и, къ удивленію, увидѣлъ что *темная* полоса *D* выступила съ чрезвычайною силой. Я замѣнилъ солнечный спектръ Друкмондовымъ, который какъ вообще спектръ всякаго раскаленнаго твердаго или жидкаго тѣла, не имѣетъ темныхъ полосъ, но когда этотъ спектръ бывалъ пропущенъ чрезъ пламя съ поваренною солью, то въ спектрѣ на мѣстѣ натріевой полосы показывалась темная полоса. То же было когда вмѣсто раскаленнаго известковаго цилиндра я бралъ платиновую проволоку, раскаляя ее пламенемъ или доводя дѣйствіемъ электрическаго тока близко къ точкѣ плавленія. Явленія эти легко объясняются, если принять что пламя натрія поглощаетъ лучи именно той преломляемости какія само испускаетъ, а для всѣхъ другихъ прозрачно." Пламя натрія, поглотивъ яркіе

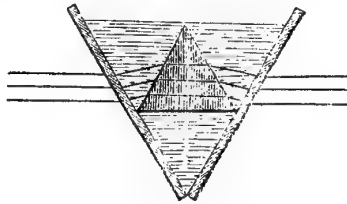
оранжевые лучи раскаленного тѣла или раскаленной платины, вмѣсто ихъ пролагаетъ на соответствующее мѣсто спектра собственный, сравнительно весьма слабый, орапжевый свѣтъ, и мѣсто это кажется темнымъ на яркомъ фонѣ спектра. Обращеніе спектра натрія можно также весьма наглядно обнаружить, положивъ на нижній уголь электрическаго фонаря кусочекъ чистаго натрія величиной съ горошину. Вокругъ ярко раскаленного сгорающаго кусочка образуется натріевая атмосфера, поглощающая оранжевые лучи раскаленной части (испускающей лучи разнообразной преломляемости, какъ вообще твердыя и жидкія тѣла) и на экранѣ появляется яркій спектръ съ рѣзкою черною полосой на мѣстѣ полосы натрія. Когда кусокъ прогоритъ, и лучи доставляются лишь раскаленною натріевою атмосферой, спектръ принимаетъ видъ обыкновеннаго спектра натрія, то-есть представляется въ видѣ яркой орапжевой полосы. Бунзену и Кирхгофу удалось также обратить въ темныя полосы свѣтлыя полосы литія, стронція, барія и калиція. Явленіе объясняется закономъ указаннымъ Кирхгофомъ (законъ этотъ относится ко всѣмъ вообще лучамъ теплоты, какъ дѣйствующимъ на глазъ такъ и темнымъ) и согласно которому газообразное тѣло поглощаетъ именно тѣ лучи которые само способно испускать, будучи приведено въ свѣтящееся состояніе. Явленіе это имѣетъ аналогію въ области звука: натянутая струна, когда къ ней приходятъ звуковыя волны періода колебаній равнаго періоду ея собственныхъ качаній, принимаетъ дѣйствіе (поглощаетъ волны) и сама приходитъ въ дрожаніе, испуская волны той же длины. Такимъ образомъ раскаленный газъ въ спектрѣ котораго отсутствуютъ цвѣта находящіеся въ спектрѣ другаго тѣла той же температуры вполнѣ прозраченъ для лучей этихъ цвѣтовъ; на лучи же такого цвѣта какой есть въ его спектрѣ оказываетъ тѣмъ сильнѣйшее поглощеніе, чѣмъ значительнѣе яркость этого цвѣта въ его спектрѣ. Чтобы обнаружить обращеніе спектра, то-есть чтобы появилась черная полоса на мѣстѣ гдѣ газъ даетъ свѣтлую, надо чтобы раскаленное тѣло лучи котораго поглощаются газомъ имѣло температуру выше чѣмъ температура раскаленного газа.

Явленіе обращенія спектра объясняетъ происхождение фраунгоферовыхъ линий и указываетъ средство опредѣлить въ атмосферѣ солнца и другихъ звѣздъ присутствіе тѣхъ или другихъ земныхъ тѣлъ. Если темныя линии спектра солнца или звѣзды совпадаютъ со свѣтлыми линиями спектра какого-либо извѣстнаго тѣла, то это есть признакъ что въ раскаленной атмосферѣ солнца или звѣзды присутствуетъ паръ этого тѣла, поглощающій соответствующіе этимъ линиямъ лучи испускаемые болѣе раскаленною центральною частью. Отсюда цѣлая новая область науки—солнечная и звѣздная химія (труды англійскихъ ученыхъ Геггинса (Huggins), Локьера; римскаго астронома Секки, французскаго ученаго Жансана (Janssen)). Доказано присутствіе на солнцѣ жѣлѣза, калиція,

магнія, натрія и другихъ металловъ; также цѣлой атмосферы раскаленного водорода облекающей солнце. Звѣзда Альдебаранъ содержитъ водородъ, натрій, кальцій, жѣлѣзо, висмутъ, теллурій, скорью и т. д. Нѣкоторыя туманности при спектральномъ изслѣдованіи обнаружили спектръ изъ свѣтлыхъ полосъ, что доказываетъ ихъ газообразное состояніе (водородъ и азотъ).

§ 298. Ахроматическія призмы и стекла. Если за одной призмой, обращенною, на примѣръ, основаніемъ внизъ, поставить другую *изъ иного вещества* и обращенную основаніемъ въ противную сторону (вверхъ въ нашемъ случаѣ), то вторая будетъ оказывать дѣйствіе противоположное съ первой, и ее можно выбрать съ такимъ угломъ (меньшимъ или большимъ чѣмъ уголъ первой, смотря по тому изъ болѣе преломляющаго или изъ менѣе преломляющаго матеріала она состоитъ), что отклоненіе произведенное первой призмой уничтожится дѣйствіемъ второй, и лучъ, пройдя черезъ совокупность этихъ призмъ, выйдетъ параллельно первоначальному направленію. Ньютонъ полагалъ что уничтоженіе второю призмой дѣйствія первой происходитъ одновременно для лучей всѣхъ цвѣтовъ, и пучокъ выходящій долженъ быть бѣлымъ, если таковымъ былъ первоначальный. Наоборотъ, если вторая призма или не совсѣмъ уничтожаетъ дѣйствіе первой, или пересиливаетъ его, то лучъ, выходя отклоненнымъ, долженъ представлять призматическое разложеніе: быть окрашеннымъ. Другими словами, по мнѣнію Ньютона, отклоненіе не сопровождающееся раздробленіемъ невозможно, преломляется ли свѣтъ одною призмой или совокупностію нѣсколькихъ, хотя бы и изъ разнаго матеріала. Отсюда слѣдовало бы, —такъ какъ дѣйствіе объектива телескопа основывается на подобномъ призматическому отклоненіи лучей въ болѣе толстой части стекла, — что объективъ *ахроматическій*, то-есть дающій изображенія свободныя отъ цвѣтныхъ коимъ, — невозможенъ. Противъ справедливости этихъ положеній возсталъ Эйлеръ, указавшій теоретическую возможность ахроматизма. Англійскій строитель оптическихъ инструментовъ Доллондъ, въ началѣ рѣзко высказавшійся противъ мнѣнія Эйлера, въ 1757 году сдѣлалъ слѣдующій опытъ, практически доказавшій возможность ахроматизма. „Онъ склеилъ краями, сказано въ описаніи сообщенномъ Лондонскому Королевскому Обществу, двѣ стеклянныя пластинки съ параллельными стѣнками, такъ что образовался призматическій или клинообразный сосудъ (фиг. 408) узкимъ концомъ книзу; внутрь вложилъ стеклянную призму (въ 60°) однимъ изъ реберъ кверху и наполнилъ свободное пространство водою, такъ что лучъ прошедшій черезъ обѣ преломляющія среды преломлялся только вслѣдствіе разности двухъ дѣйствій. Найдя что преломленіе въ водѣ можетъ или побѣждать преломленіе въ стеклѣ или уступать ему, онъ уменьшалъ и увеличивалъ уголъ пластинокъ до тѣхъ поръ пока сдѣлалъ противоположныя дѣйствія равными; въ этомъ убѣдился, смотря черезъ обѣ призмы на какой-нибудь предметъ:

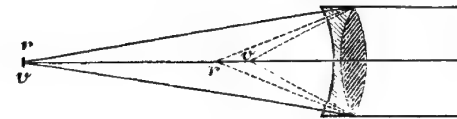
когда предмет не казался ни выше ни ниже настоящего мѣ-



Фиг. 408.

ста, это было признакомъ что преломленія равны и выходя-
щіе лучи параллельны падающимъ. Согласно господствующему
мнѣнію, предметъ долженъ бы казаться въ натуральномъ видѣ
(безъ коймъ)... Но опытъ показываетъ ошибочность этого мнѣ-
нія... ибо предметъ, хотя лучи не преломлялись, представлялся
съ цвѣтными коймами, одинаковыми съ тѣми какія бываютъ
когда смотримъ на него чрезъ одну стеклянную призму съ
угломъ около 30° . Такимъ образомъ дѣйствіе воды, уничто-
живъ отклоненіе пучка, не уничтожило раздробленія лучей,
хотя и уменьшило его (ибо койма сдѣлалась меньше чѣмъ ес-
либы дѣйствовала одна стеклянная призма съ угломъ въ 60°).
Если еще увеличить уголъ водяной призмы, такъ что дѣйствіе
воды сдѣлается преобладающимъ и лучъ получитъ отклоненіе,
то койма должна продолжать уменьшаться пока исчезнетъ.
Еслибъ и послѣ того мы продолжали увеличивать уголъ сосу-
да, то койма должна появиться, но съ обратнымъ расположе-
ніемъ цвѣтовъ: воспреобладало бы раздробленіе причиняе-
мое водяною призмой. Сдѣлать такой опытъ съ широкимъ
сосудомъ, вмѣщавшимъ призму въ 60° было неудобно. Доллондъ
взялъ узкую стеклянную призму въ 9° и заключилъ ее въ со-
судъ съ водою какъ въ предыдущемъ опытѣ. Увеличивая уголъ
стеклянныхъ пластинокъ сосуда, онъ получилъ лучъ откло-
ненный вверхъ, но неокрашенный. Доказавъ такимъ обра-
зомъ возможность ахроматической призмы, Доллондъ сталъ
изыскивать средство сложить ее изъ двухъ призмъ изъ твѣр-
даго матеріала, и для того сталъ изслѣдовать, по отношенію
къ преломленію и раздробленію, различные сорта стекла. Жел-
товатое венеціанское стекло и англійскій кроунъ оказались
почти одинаковыми, но бѣлый хрусталь или англійскій флинтъ
обнаружилъ и болѣе сильное преломленіе и значительно бо-
лѣе широкія коймы, такъ что и при равномъ отклоненіи луча
(а для этого призма изъ флинта должна быть съ болѣе ост-
рымъ угломъ чѣмъ призма изъ кроуна) койма производимая
флинтномъ шире коймы производимой кроуномъ. Соединяя двѣ
призмы, одну изъ кроуна, съ болѣе широкимъ угломъ, и другую
изъ флинта, съ болѣе острымъ, такъ чтобъ онѣ были обращены
вершинами въ противоположныя стороны, можно получить ахро-

матическую призму, отклоняющую лучи къ основанію болѣе
широкой призмы, но не раздробляющую ихъ на цвѣта. Подо-
бнымъ образомъ можно,—соединяя собирающее стекло изъ кро-
на съ разсѣвающимъ изъ флинта,—составить ахроматическій
объективъ. Призматическое раздробленіе луча верхнею полови-
ной собирающего стекла (фиг. 409) уничтожается обратнымъ
дѣйствіемъ верхней половины разсѣвающего стекла; то же



Фиг. 409.

происходить и въ нижней части, и весь объективъ предста-
вляетъ подобіе двухъ сложенныхъ основаніями ахроматичес-
кихъ призмъ. Еслибы не было разсѣвающего флинта, то бѣлый
пучокъ параллельныхъ лучей далъ бы фокусъ фіолетовыхъ
лучей въ точкѣ c , ближе фокуса r красныхъ. Разсѣвающее
стекло ослабляетъ дѣйствіе собирающего, и лучи сходятся даль-
ше отъ стекла; но при этомъ ослабленіе дѣйствуетъ сильнѣе
на фіолетовые лучи чѣмъ на красные, оттого отдѣльные фо-
кусы ихъ сближаются между собою, и можно подобрать второе
стекло такъ что они совпадутъ въ одной точкѣ. Получимъ ахро-
матическій объективъ, дающій изображенія безъ замѣтныхъ
коймъ.

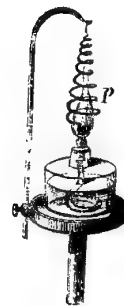
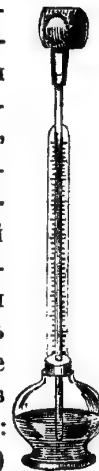
§ 299. Нагрѣвающее дѣйствіе лучей разнаго цвѣта.
Термическое изученіе спектра. Темные лучи спектра
открыты Гершелемъ. „Испытывая (въ 1800), гово-
ритъ Гершель, различные средства для удобнѣй-
шаго наблюденія солнца помощію большихъ теле-
скоповъ, я пробовалъ различные соединенія цвѣт-
ныхъ стеколъ, съ цѣлью затмить изображеніе этого
свѣтила. Я былъ удивленъ, найдя что съ нѣкоторыми
испытывалъ ощущеніе теплоты, хотя они мало до-
ставляли свѣта, тогда какъ другія доставляли много
свѣта, почти не возбуждая ощущенія теплоты. И такъ
какъ, при этихъ разныхъ комбинаціяхъ, солнце пред-
ставлялось различно окрашеннымъ, то мнѣ пришло
на мысль что лучи раздѣленные призмой могутъ
имѣть различную нагрѣвательную способность.“ Что-
бы повѣрить эту мысль, Гершель бросилъ на столъ

солнечный спектр, помощью призмы поставленной у горизонтальной щели въ ставнѣ: положилъ на столъ, подъ небольшимъ наклономъ, три маленькихъ термометра съ шариками зачерненными тушью и помѣщалъ ихъ такъ что шарикъ приходился въ разныхъ цвѣтахъ спектра, или одинъ въ цвѣтномъ мѣстѣ, другіе въ тѣни. Обнаружилось что красные лучи грѣютъ значительно сильнѣе чѣмъ зеленые и фіолетовые, и что вообще нагревающее дѣйствіе увеличивается постепенно отъ фіолетоваго конца къ красному (тогда какъ свѣтъ наибольшее напряженіе свое имѣетъ въ желтомъ мѣстѣ спектра). Далѣе, Гершель, въ яркій солнечный день, сдѣлалъ важное наблюдение, что нагревающее дѣйствіе лучей раздробленныхъ призмой не ограничивается предѣломъ видимаго спектра: въ темномъ мѣстѣ, за предѣломъ краснаго цвѣта, термометръ продолжалъ показывать повышеніе температуры и будучи „на подюйма отъ видимаго краснаго края поднялся на $6\frac{1}{2}^{\circ}$ (Фар.) въ 10 минутъ... онъ поднялся на 3° когда отстоялъ на $1\frac{1}{2}$ дюйма отъ этого края“. За предѣломъ фіолетоваго цвѣта никакого нагревающего дѣйствія не было замѣчено.

§ 300. Метода Меллони для изученія разнородности лучей идущихъ отъ источниковъ теплоты. Эпоху въ исторіи ученія о лучахъ теплоты составили изслѣдованія италіянскаго физика Меллони *), произведенныя въ тридцатыхъ и сороковыхъ годахъ нынѣшняго столѣтія. Меллони изучалъ разнородность лучей испускае-

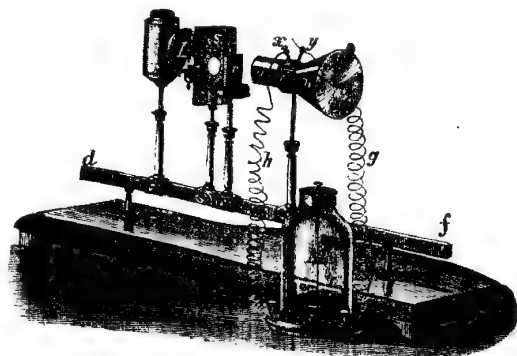
*) Родомъ изъ Пармы, сотрудникъ, въ концѣ двадцатыхъ годовъ нынѣшняго столѣтія, извѣстнаго физика Нобили. По политическимъ обстоятельствамъ оставивъ Италію, поселился въ Парижѣ; въ 1833 году представилъ свои изслѣдованія въ Парижскую Академію Наукъ, но они были приняты холодно и недовѣрчиво. Извѣстность Меллони началась со времени признанія его открытій Лондонскимъ Королевскимъ Обществомъ, давшимъ ему въ 1834 году медаль Румфора (главнымъ образомъ благодаря свидѣтельству шотландскаго физика Форбеса, видѣвшаго опыты Меллони въ Парижѣ).

мыхъ нагрѣтыми тѣлами не помощью призмы, а другимъ приѣмомъ: пропуская эти лучи чрезъ пластинки разныхъ веществъ и измѣряя ихъ нагревающее дѣйствіе помощью своего (§ 238) термо-электрическаго столбика. Впрочемъ для показанія наиболѣе рѣзкихъ изъ числа опытовъ Меллони можно, согласно его указанію, пользоваться простымъ воздушнымъ термометромъ (фиг. 410), съ зачерненнымъ шарикомъ, снабженнымъ цилиндрическою оправой изъ полированного металла, которая открывается съ той стороны откуда идутъ лучи „и служить для предохраненія шарика отъ лучистой теплоты наблюдателя и вообще кружающихся термометръ тѣлъ“. Въ качествѣ источниковъ теплоты Меллони употреблялъ: а) масляную лампу съ рефлекторомъ (фиг. 411) но безъ стеклянной трубки, дабы между Фиг.410. источникомъ и пластинкой не было постороннихъ тѣлъ кромѣ воздуха, пропускающаго лучи безъ замѣтнаго



Фиг. 411 Фиг. 412. Фиг. 413. Фиг. 414.
поглощенія: лампа Локателли; в) платиновую спираль раскаленную въ пламени спиртовой лампы (фиг. 412) и

представляющую собою раскаленное тѣло менѣе высокой температуры чѣмъ пламя масляной лампы; с) мѣдную зачерненную пластинку (фиг. 413) нагреваемую сзади лампой; такая пластинка представляет собою темный источникъ теплоты при температурѣ около 400°; д) кубъ съ металлическою зачерненною поверхностію (фиг. 414) наполненный кипящею водою: темный источникъ сравнительно невысокой температуры 100°. Каждый источникъ ставился на такомъ разстояніи отъ столбика чтобы его *прямое* нагревающее дѣйствіе было одинаково съ дѣйствіемъ другихъ. Для этого источникъ болѣе высокой температуры должно ставить дальше отъ столбика, болѣе низкой ближе къ столбику, пока отклоненіе стрѣлки снаряда будетъ одинаково (около 30°). Количество лучей падающихъ на столбикъ отъ каждого изъ источниковъ можно, слѣдовательно, считать одинаковымъ. Меллони обозначалъ его числомъ 100. Когда на пути лучей стояла пластинка изслѣдуемаго тѣла (фиг. 415), отклоненіе стрѣлки было меньше. Допустимъ, наприимѣръ, что оно уменьшилось вдвое и стало 15°. Заключаемъ что количество падающихъ на столбикъ лучей сдѣлалось вдвое меньше: половина задержа-



Фиг. 415.

на пластинкой *). Прошло, слѣдовательно, 50 лучей. Слѣдующая таблица заключаетъ въ себѣ нѣкоторые изъ результатовъ опытовъ Меллони, произведенныхъ сказаннымъ способомъ. Изъ ста падающихъ лучей, слѣдующія тѣла, въ формѣ пластинокъ въ 2,6 миллиметра толщиною, пропускаютъ:

	отъ лампы Локателли.	отъ раскал. платины.	отъ мѣди при 400°.	отъ мѣди при 100°.
Каменная соль . . .	92	92	92	92
Сѣра (желтая Сицилійская)	74	77	60	54
Бериллъ (желтозеленоватый)	54	23	13	0
Плавленый шпатъ (зеленоватый) . .	46	38	24	20
Стекло (прозрач.)	39	24	6	0
Горный хрусталь (прозрачный) . .	38	28	6	4
Горный хрусталь (дымчатый)	37	28	6	0
Квасцы	9	2	0	0
Ледъ	6	0,5	0	0
Черное стекло **)				
(въ 1 миллиметрѣ толщиною)	26	25	12	0

§ 301. Замѣчательное свойство каменной соли. Ученіе Меллони о теплопроводности. „Первый результатъ поражающій воображеніе при разсмотрѣніи этой таблицы, говоритъ Меллони, есть обильное пропусканіе теплоты пластинками каменной соли и особенно постоянство этого свойства для всякаго рода тепловыхъ лученспусканій. Это явленіе великой важности, ибо его одного достаточно чтобы доказать какъ ошибочна была идея какую обыкновенно

*) Отдѣльнымъ изслѣдованіемъ было доказано что число градусовъ отклоненія пропорціонально нагревающему дѣйствію или количеству падающихъ лучей.

**) Число соответствующее черному стеклу не находится въ таблицѣ Меллони. Взято изъ Геллерова Словаря, X, 579.

составляли себѣ о природѣ лучей теплоты идущихъ отъ источниковъ невысокой температуры. Видя нынѣ что такіе лучи проходятъ чрезъ твердое тѣло съ такою же легостію и въ такомъ же обиліи какъ лучи пламени и раскаленныхъ тѣлъ, необходимо заключить что различные роды лучистой теплоты существенно не разнятся между собою, и что неодинаковость ихъ прохожденія чрезъ стекло и другія тѣла свидѣтельствуеъ о ихъ *характеристическихъ особенностяхъ* полагающихъ между ними различіе подобнаго рода какъ то какое есть между лучами свѣта различныхъ цвѣтовъ. Такимъ образомъ тѣла нагрѣтыя до болѣе или менѣе высокихъ температуръ суть такъ-сказать источники *теплоты разнаго цвѣта*. Стекло и другія прозрачныя тѣла, пропуская эти цвѣта теплоты въ разной пропорціи, суть, по отношенію къ теплотѣ, цвѣтныя средины; каменная соль есть среда безцвѣтная по отношенію къ теплотѣ, одинаково пропускающая чрезъ себя теплые лучи всякаго цвѣта... Назовемъ *теплоцвѣтностію* (*термохромъ*) это свойство среды и тепловыхъ лучей, которое мы сравнили съ цвѣтами тѣлъ и лучей свѣта... Видимъ далѣе что порядковъ въ какомъ слѣдуютъ тѣла относительно ихъ *прозрачности для лучей теплоты* не тотъ въ какомъ они находятся относительно *прозрачности для лучей свѣта*... Квасцы и другія тѣла совершенно безцвѣтныя, вполне *непрозрачны* для лучей теплоты идущихъ отъ раскаленной платины или отъ мѣди при 400° и при 100°, тогда какъ нѣкоторые цвѣтныя и мало прозрачныя тѣла, напримѣръ, сѣра, нечистая каменная соль, пропускаютъ ихъ въ значительной степени... Прозрачность для теплоты назовемъ *теплопрозрачностію* (*diathermasie*) въ противоположность нетеплопрозрачности (*adiathermasie*)... Представляется вопросъ: тѣло совершенно непрозрачное для свѣта можетъ ли быть теплопрозрачнымъ? Опытъ разрѣша-

етъ вопросъ этотъ утвердительно. Есть три тѣла которые при известной толщинѣ пропускаютъ лучи теплоты многихъ источниковъ, совсѣмъ не пропуская лучей свѣта. Это—черное стекло (изъ какого оптики дѣлаютъ зеркала для опытовъ съ поляризацией свѣта), черная слюда и каменная соль въ особомъ непрозрачномъ состояніи... Кто въ первый разъ наблюдаетъ явленіе (прохожденіе лучей тепла чрезъ совершенно непрозрачныя тѣла) тотъ обыкновенно готовъ приписать его теплотѣ поглощенной пластинкой и лучеиспускаемой ею на термометръ... Но если вывести столбикъ внѣ направленія (проходящихъ лучей), оставляя его на томъ же разстояніи отъ пластинки и постоянно обращая къ ней, то стрѣлка гальванометра возвратится къ нулю. Можно и повернуть осторожно пластинку такъ чтобъ она стала перпендикулярно къ оси столбика, а стрѣлка все остается при нулѣ... Наконецъ, слѣдующій опытъ доказываетъ, такъ-сказать осязательно, что вліяніе нагрѣванія пластинки не замѣтно... Возьмемъ два экрана съ отверстиями и поставимъ ихъ дѣиметрахъ въ двухъ одинъ отъ другаго (между источникомъ тепла и столбикомъ), такъ чтобъ отверстія ихъ находились на оси пучка лучей теплоты (идущихъ отъ источника къ столбцу); затѣмъ поставимъ непрозрачную пластинку между ними и станемъ передвигать ее отъ одного отверстія къ другому. Эти перемѣны положеній не произведутъ никакого замѣтнаго измѣненія въ показаніи инструмента, что не преминуло бы обнаружиться еслибы дѣйствіе вполне или хотя отчасти происходило отъ нагрѣванія самой пластинки.

Прибавимъ еще что задолго прежде Меллони женевскій физикъ Прево доказывалъ (въ 1811) непосредственное прохожденіе лучистой теплоты чрезъ тѣла, не зависящее отъ ихъ собственной температуры, помощію слѣдующаго опыта. Помощію отверстія образованнаго двумя параллельными пластинками и сое-

диненнаго съ трубой фонтана, онъ произвелъ плоскую водяную струю представлявшую собою слой воды въ миллиметра толщиной. Съ одной стороны такой струи ставилъ воздушный термометръ съ зачерненнымъ шарикомъ, съ другой свѣчу или разогрѣтое желѣзо и во многихъ случаяхъ обнаружилъ явные признаки прохожденія теплоты. Такъ какъ струя пропускавшая тепло въ этомъ случаѣ непрерывно смѣнялась, то нельзя допустить распространенія теплоты отъ слоя къ слою.

Какъ общее заключеніе изъ своихъ опытовъ, Меллони выразилъ такое положеніе: „вода, горный хрусталь и вообще всѣ прозрачныя и безцвѣтныя тѣла *теплоустойчивы* (пропускаютъ одни изъ лучей теплоты и не пропускаютъ другихъ), то-есть дѣйствуютъ на лучи тепла совершенно подобно тому какъ цвѣтныя среды дѣйствуютъ на лучи свѣта“.

§ 302. Опыты подтверждающіе ученіе о теплоустойчивости. Дальнѣйшими опытами Меллони еще болѣе подтвердилъ свое воззрѣніе. Такъ 1) извѣстно что если слой цвѣтной среды взять достаточно тонкій, то онъ значительно обезцвѣчивается, начиная пропускать, кромѣ лучей своего цвѣта, и другіе лучи входящіе въ составъ бѣлаго луча. Подобнымъ образомъ если взять тонкія пластинки стекла, слюды, гипса и т. п., то ихъ теплопрозрачность сильно увеличится и они будутъ приближаться съ этимъ отношеніемъ къ каменной соли. Напримѣръ стекло изъ 100 лучей пропускаетъ

	отъ лампы отъ платины.		отъ мѣди отъ мѣди	
	Докателлп.		при 400°	при 100°
при толщинѣ 2,6	39	24	6	0
„ „ 0,07	77	57	34	12

2) Если на пути пучка бѣлыхъ лучей поставить пластинку безцвѣтнаго стекла, то такая пластинка пропуститъ гораздо болѣе лучей (почти полное ихъ количество) чѣмъ пластинка цвѣтная, напримѣръ красная: чрезъ послѣднюю пройдутъ только красныя лучи. Но если, разъ пропустивъ лучи чрезъ красное стекло и тѣмъ выдѣливъ лучи чрезъ такое стекло не проходящія, поставимъ на пути прошедшихъ лучей вторую пластинку, то эта пластинка пропуститъ ихъ одинаковое количество, будетъ ли она безцвѣтная или красная: разъ прошедшіе чрезъ красное стекло лучи чрезъ второе такое же

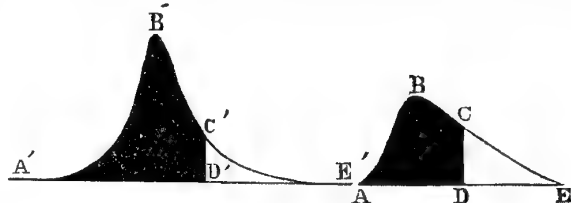
стекло проходить въ обилии. Подобное явленіе Меллони наблюдалъ при послѣдовательномъ прохожденіи лучей тепла чрезъ двѣ пластинки. Лучъ прошедшій чрезъ первую есть какъ бы лучъ окрашенный. Слѣдующая таблица даетъ понятіе о такомъ послѣдовательномъ прохожденіи. Опыты располагались такъ чтобы лучи прошедшіе чрезъ первую пластинку прямо пада на столбикъ, производили отклоненіе 30°, такъ что количество ихъ можно было считать равнымъ 100. Помѣщенная на пути лучей вторая пластинка уменьшала ихъ количество.

	выходящихъ изъ				
	прямо пада- ющихъ.	камен- ной соли.	ввас- цевъ.	гипса.	чернаго не- прозрач. стекла.
Каменная соль про- пускаетъ изъ ста лучей лампы Ло- кателлп	92	92	92	92	92
Берилл	54	53	80	91	57
Стекло (0,5 милл.)	54	54	90	85	80
Черное стекло (1,8 милл.)	16	16	0	18	52
Гипсъ (12 милл.) . .	10	10	56	45	0,5
Ввасцы	9	9	90	47	0

Лучи идущіе отъ аргантовой лампы можно разсматривать какъ лучи разъ прошедшіе чрезъ стеклянную пластинку, ибо пламя лампы окружено стеклянною трубкой. Такіе лучи легко проходятъ чрезъ стекло. Потому если взять два воздушные термометра, одинъ съ зачерненнымъ шарикомъ, другой съ прозрачнымъ и приблизитъ ихъ къ аргантовой лампѣ, то столбъ жидкости въ зачерненномъ термометрѣ быстро опустится, обнаруживая нагрѣваніе, а столбъ не покрытаго останется въ покоѣ, ибо лучи безъ поглощенія пройдутъ чрезъ его шарикъ. Если поднести къ тѣмъ же термометрамъ нагрѣтое желѣзо, то оба колонны опустятся одинаково, ибо стекло поглощаетъ лучи отъ темнаго нагрѣтаго тѣла.

§ 303. Термическое изученіе спектра образованнаго призмою изъ каменной соли. Заключеніе о тождествѣ лучи свѣта и теплоты. Открытіе теплопрозрачности каменной соли дало возможность изучитъ истинный составъ пучка лучей испускаемыхъ солнцемъ и другими источниками теплоты и свѣта. Образъ спектръ помощью призмы и стекла изъ каменной соли, мы разлагаемъ падающій пучокъ на части разной преломля-

емости безъ утраты лучей вслѣдствіе поглощенія, тогда какъ стеклянная призма задерживаетъ значительную долю теплыхъ лучей. Фиг. 416 и 417 изображаютъ результатъ призматическаго изученія, помощію каменной соли, солнечнаго (фиг. 417) и электрическаго свѣта (фиг. 416). Горизонтальная линія изо-



Фиг. 416.

Фиг. 417.

бражаетъ длину спектра, вертикальныя линіи вершины которыхъ соединяются общою кривою—напряженіе теплоты въ разныхъ частяхъ спектра. Бѣлая часть чертежа изображаетъ свѣтлую часть спектра, черная—темную. Видимъ что количество темныхъ лучей теплоты значительно превышаетъ количество свѣтлыхъ, особенно въ случаѣ (фиг. 416) электрическаго свѣта (часть темныхъ солнечныхъ лучей поглощается при прохожденіи чрезъ атмосферу).

Французскіе ученые Жаменъ и Массонъ (въ концѣ пятидесятыхъ годовъ нынѣшняго столѣтія), произведя солнечный спектръ помощію призмы и стекла изъ каменной соли и ввода узкій столбикъ Меллонн въ различныя части спектра, изучали термическое дѣйствіе лучей разной преломляемости. Когда столбикъ оставался въ предѣлахъ видимаго спектра, онъ получалъ лучи опредѣленнаго цвѣта не смѣшанныя ни съ лучами другихъ цвѣтовъ, ни съ темными лучами отклоненными призмой вѣдъ видимаго предѣла. Спрашивается: нагрѣвающее и освѣщающее дѣйствіе цвѣтнаго луча, такимъ образомъ выдѣленнаго, измѣняются ли во всѣхъ случаяхъ одинаковымъ образомъ,—это свидѣтельствовало бы что то же самое колебаніе которое производитъ нагрѣваніе, дѣйствуя на зрительный нервъ, ощущается нами какъ свѣтъ и что слѣдовательно явленія тепла и свѣта съ физической стороны тождественны между собою;—или же два эти дѣйствія слѣдуютъ не параллельнымъ измѣненіямъ и потому суть два явленія совмѣстныхъ, но не тождественныхъ. Опытъ рѣшаетъ вопросъ въ пользу тождества явленій. По отношенію къ однородному лучу,

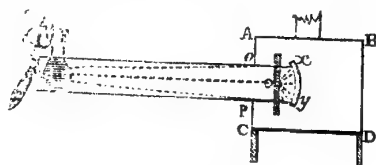
напримѣръ желтому, тѣ тѣла которыя ослабляютъ его свѣтъ настолько же ослабляютъ его теплоту; тѣ которыя прозрачны для его свѣта прозрачны и для его теплоты (назовемъ ее для краткости *желтою теплотою*). Такъ, три пластинки—каменной соли, стекла и квасцовъ, будучи прозрачны для желтаго цвѣта, и желтую теплоту пропускаютъ въ одинаковомъ количествѣ, несмотря на то что въ случаѣ смѣшаннаго пучка лучей, какъ мы видѣли, квасцы и каменная соль рѣзко различаются между собою. Цвѣтныя стекла (зеленое, голубое и фиолетовое) помѣщенные на пути однородныхъ цвѣтныхъ лучей совершенно въ одинаковой пропорціи ослабляли ихъ свѣтъ и теплоту.

§ 304. Явленія калоресценціи. Тиндаль открылъ что густой растворъ іода въ сѣрнистомъ углеродѣ, вовсе не пропускающій свѣтлыхъ лучей, въ обиліи пропускаетъ темные лучи теплоты. Отразивъ лучи углей электрическаго фонаря помощію металлическаго зеркала, нетрудно соединить эти лучи на нѣкоторомъ разстояніи передъ фонаремъ (собирающее стекло котораго снято) въ одномъ фокусѣ. Если предъ отверстіемъ фонаря поставить сосудъ съ параллельными стѣнками изъ каменной соли, наполненный растворомъ іода въ сѣрнистомъ углеродѣ, то всѣ свѣтлые лучи, стремящіеся къ фокусу, будутъ задержаны, и въ фокусѣ соберутся лишь темные лучи, способные довести помѣщаемое здѣсь тѣло,—если оно имѣетъ достаточную поглощательную способность,—до весьма высокой температуры. Тончайшіе листочки платины раскалялись *); легко воспламеняющіяся тѣла: трутъ,

*) Замѣчательный опытъ свидѣтельствующій что поглощенные лучи вновь выпускались повышенными въ своей преломляемости; болѣе длинныя волны темныхъ лучей превращались въ болѣе короткія свѣтлыхъ. Отсюда наименованіе явленія *калоресценціи* въ параллель съ *флуоресценціею*, о которой сказано будетъ ниже и вслѣдствіе которой, чрезъ поглощеніе лучей высшей преломляемости, возбуждаются лучи низшей преломляемости. Но температура раскаленнаго такимъ путемъ тѣла не можетъ быть болѣе температуры источника лучей. Повышеніе преломляемости какъ замѣтилъ авторъ извѣстнаго англійскаго курса химіи докторъ Миллеръ, доказывается уже раскаленіемъ известнаго газа. Лучи доставляемые пламенемъ этого газа почти исключительно темные, а между тѣмъ накаляютъ извѣсть.

спичка, сигара загорались; разного цвета бумага прогорала (красная наименее).

Для опытовъ съ калоресценціею вѣтъ, впрочемъ, надобности употреблять непременно сосудъ изъ каменной соли; обыкновенное стекло пропускаетъ темные лучи, идущіе отъ источника высокой температуры, въ достаточномъ количествѣ чтобы произвести дѣйствіе. Опытъ удобно располагается какъ изображено на фиг. 418. Стеклянная колба съ іодомъ F не толь-



Фиг. 418.

ко задерживаетъ свѣтлые лучи но и служитъ собирающимъ стекломъ соединяющимъ темные лучи *).

Замѣчательно что темные лучи, способные раскалять и зажигать тѣла, — въ глазномъ нервѣ, несмотря на свою напряженность, не возбуждаютъ ощущенія свѣта. По-

*) Выше мы видѣли что стекло, квасцы задерживаютъ лучи отъ темныхъ источниковъ, каковы мѣдная пластинка Меллони или кубъ Лесли. Это не противорѣчитъ настоящему опыту, доказывающему только что темные лучи высокой температуры, каковы темные лучи солнца или электрическаго свѣта, проходить въ значительномъ количествѣ черезъ стекло, тогда какъ темные лучи сравнительно низкой температуры, идущіе отъ мѣди при 400° или куба при 100° , задерживаются. Вообще тѣло нагрѣтое ниже температуры краснаго каленія испускаетъ лишь темные лучи. Возьмемъ, напримѣръ, платиновую проволоку раскаленную гальваническимъ токомъ. Когда проволока начинаетъ быть видима, къ темнымъ лучамъ присоединяются видимые красные; при возвышеніи температуры прибавляются оранжевые, желтые и такъ далѣе до совокупности всѣхъ цвѣтовъ спектра вышестъ производящихъ ощущеніе благаго цвѣта, когда проволока достигаетъ бѣлаго каленія. Между тѣмъ темные лучи нѣсколько не ослабѣваютъ, но по мѣрѣ возвышенія температуры увеличиваются въ количествѣ и напряженіи. Прибавимъ что на свойствѣ стекла пропускать въ довольно значительномъ коли-

мѣствѣ металлическую пластинку съ маленькимъ отверстиемъ въ томъ мѣстѣ гдѣ собираются лучи, Тиндалъ приблизилъ глазъ сзади отверстія къ такому фокусу невидимыхъ лучей. Лучи эти, проникнувъ въ глазъ, не произвели никакого дѣйствія на глазной нервъ. Между тѣмъ помѣщенный въ томъ же мѣстѣ тонкій листокъ платины раскалялся. Опытъ нельзя объяснить поглощеніемъ лучей влагами глаза, ибо, какъ показали изслѣдованія произведенныя надъ бычачьимъ глазомъ, чрезъ эти влаги до ретины достигаетъ до 20 процентовъ общаго количества лучей. Если принять во вниманіе что, напримѣръ, свѣча поставленная за версту и доставляющая въ глазъ сравнительно ничтожное количество лучей, — легко видима въ темную ночь, то должно заключить что глазной нервъ, чувствительный для короткихъ волнъ свѣтлой теплоты, совершенно не чувствителенъ для длинныхъ волнъ темной теплоты, хотя бы, измѣряемое механически, дѣйствіе ихъ было въ нѣсколько миллионовъ разъ сильнѣе.

§ 305. Химическое дѣйствіе лучей. Химическіе лучи.

На чемъ основывается фотографія. Роговое или хлористое серебро (Шееле, 1770 г.) чернѣетъ отъ дѣйствія свѣта, ибо разлагается, при чемъ серебро отлагается въ видѣ мельчайшаго порошка нѣмущаго темный видъ. Лаписъ или азотнокислое серебро также испытываетъ разлагающее дѣйствіе свѣта, если находится въ присутствіи органическихъ веществъ (смоченная растворомъ лаписа бумага, ткань, кожа чернѣютъ). Смѣсь водороднаго газа съ хлоромъ, приготовленная

цѣствѣ темные солнечные лучи и задерживать темные лучи отъ источника невысокой температуры основывается дѣйствіе парниковъ и нагрѣваніе до значительной степени термометра заключеннаго въ черномъ ящикѣ, закрытомъ однимъ или нѣсколькими стеклами и выставленномъ на солнечные лучи.

въ темной комнатѣ, будучи вынесена на свѣтъ, производитъ взрывъ вслѣдствіе того что хлоръ, подъ вліяніемъ свѣта, соединяется съ водородомъ.

Вводя тѣла испытывающія химическое дѣйствіе свѣта въ различные части спектра, можно убѣдиться что химически дѣйствуютъ лучи высокой преломляемости—синіе и фіолетовые, тогда какъ лучи малой преломляемости,—красные и темные тепловые не оказываютъ такого дѣйствія. Германскій ученый Риттеръ открылъ что химическое дѣйствіе спектра на его фіолетовомъ концѣ не ограничивается видимымъ предѣломъ фіолетоваго цвѣта. „Я нашелъ (писалъ онъ 22 февраля 1802 года къ издателью *Annalen der Physik* Гильберту) за фіолетовымъ концемъ цвѣтнаго спектра невидимые лучи, обнаруживъ ихъ дѣйствіемъ на роговое серебро. Они разлагаютъ это серебро еще сильнѣе чѣмъ фіолетовые и поле дѣйствія ихъ весьма велико“. Эти химически дѣйствующіе лучи, еще вышшей преломляемости чѣмъ фіолетовые, именуются ультра-фіолетовыми и образуютъ невидимое продолженіе спектра, простирающееся на большое протяженіе, особенно если спектръ произведенъ призмой изъ горнаго хрусталя (кварца), тѣла особенно прозрачнаго для лучей этого рода. Какъ показалъ Гельмгольцъ, лучи эти, хотя и невидимые въ обыкновенныхъ условіяхъ опыта, не вовсе лишены способности дѣйствовать на глазной нервъ и при удобныхъ обстоятельствахъ могутъ быть слабо видимы.

На химическомъ дѣйствіи свѣта основывается *фотография*—Французскій художникъ Дагерръ *) первый (открытие обнародовано въ 1839 году), замѣнивъ матовое стекло камеръ-обскуры серебряною пластинкою покрытою веществомъ чувствительнымъ для дѣйствія свѣта,—указалъ возможность сохранить рисующееся въ этомъ снарядѣ оптическое изображеніе. Онъ под-

*) До изобрѣтенія *дагерротипа* пользовавшійся извѣстностію какъ усовершенствователь діорамы.

вергалъ серебряную дощечку дѣйствію пара іода: она покрывалась слоемъ іодистаго серебра. Затѣмъ ставилъ на нѣсколько минутъ въ фокусъ камеръ-обскуры и въ темномъ мѣстѣ держалъ надъ чашечкой со ртутью, нагрѣтой до 80°. Пары ртути садились на тѣ мѣста которыя отъ дѣйствія свѣта претерпѣли измѣненіе (незамѣтное непосредственно для глаза), а таковы были свѣтлыя мѣста рисунка. Такимъ образомъ на пластинкѣ образовывался ртутный покровъ со всѣми оттѣнками свѣта и тѣни изображенія. Пластинка промывалась сѣрноватисто-кислотою содой растворявшей избытокъ іодистаго вещества. Пластинку можно было вынести на свѣтъ; рисунокъ сохранялся безъ измѣненія.

Нынѣ способъ Дагера не употребляется болѣе. Его замѣнила фотография на бумагѣ, открытая въ ту же эпоху англійскимъ ученымъ Тальботомъ, но въ началѣ безъ сравненія уступавшая въ отчетливости рисунка методу Дагерра. Снятіе фотографическихъ изображеній состоитъ изъ двухъ операций: а) снятіе негативнаго изображенія или *негатива* и б) образованія позитивнаго рисунка или *позитива*. Коллодіумъ, содержащій въ растворѣ іодистый потассій, наливается на стекло и покрываетъ его тонкою прозрачною пленкой; затѣмъ стекло вносится въ ванну съ азотнокислымъ серебромъ: въ толщѣ коллодіума образуется іодистое серебро и остается нѣкоторый избытокъ азотно-кислаго серебра. Пластинка стала чувствительною для свѣта. Ее помещаютъ въ фокусъ камеръ-обскуры; дѣйствіе свѣта измѣняетъ чувствительный слой, но въ началѣ невидимо для глаза, такъ что пластинка внесенная въ темную комнату и разсматриваемая при свѣтѣ свѣчи или лампы не обнаруживаетъ рисунка. Но если полить ее пирогалловой кислотой (или сѣрнокислымъ желѣзомъ) серебро начнетъ осѣдять и отложится на тѣхъ мѣстахъ гдѣ дѣйствовалъ свѣтъ. Удаливъ помощью сѣрноватисто-кислой соды и промывки въ водѣ избытокъ солей оставшихся неразложенными, получимъ *негативъ* уже неизмѣняющійся отъ дѣйствія свѣта и состоящій изъ серебра покрывающаго темными слоемъ мѣста гдѣ дѣйствовалъ свѣтъ: свѣтлыя части предмета представляютъ потому темными и наоборотъ. Чтобы имѣть рисунокъ въ естественномъ видѣ, негативъ накладываютъ на чувствительную для свѣта бумагу и выставляютъ на свѣтъ. Лучи проходятъ чрезъ части непокрытыя серебромъ и въ большей или меньшей степени задерживаются тамъ гдѣ есть слой серебра. Бумага темнѣетъ въ тѣхъ мѣстахъ гдѣ дѣйствуютъ лучи, и получается изображеніе обратное съ негативомъ, но предметъ представляющее въ естественномъ видѣ. Чувствительная бумага для позитивовъ готовится чрезъ смачиваніе стороны на которой имѣетъ образоваться рисунокъ растворомъ поваренной соли и затѣмъ азотнокислымъ серебромъ; образуется хлористое серебро, и остается нѣкоторый избытокъ азотнокислаго. Пропитанная этимъ веществомъ бумага темнѣетъ, будучи подвергнута дѣйствію свѣта. Неразложенныя соли и съ позитива удаляются такою же промывкою какъ съ негатива.

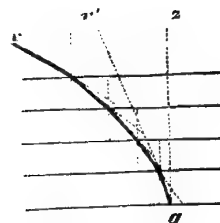
§ 306. Флуоресценція. Фосфоресценція. Если, проложивъ спектръ солнечнаго или электрическаго свѣта на экранъ, вносить въ различные цвѣта его кусокъ зеленоватаго стекла окрашеннаго окисью металла урана или склянку съ растворомъ сѣрнокислаго хинина, то замѣтимъ что вещества эти, будучи помѣщены въ фіолетовомъ цвѣтѣ или же и за предѣлами его въ невидимыхъ химическихъ (ультрафіолетовыхъ) лучахъ, свѣтятся фосфорическимъ свѣтомъ, испускаемымъ ихъ верхнимъ слоемъ. Явленіе это, именуемое *флуоресценціей*, еще рѣзче замѣтно, если, помѣстивъ предъ фонаремъ электрическаго свѣта стекло пропускающее лишь фіолетовые лучи, внесемъ сказанныя тѣла въ широкій пучокъ этихъ лучей.

Разлагая призмю свѣтъ отъ тѣла внесеннаго въ фіолетовую или ультрафіолетовую часть спектра и обнаруживающаго флуоресценцію, можно убѣдиться что свѣтъ этотъ есть сложный, заключающій въ себѣ всѣ цвѣта спектра. Заключаемъ что фіолетовые и ультра-фіолетовые лучи, дѣйствуя на такіа тѣла и приводя ихъ въ состояніе самосвѣченія, преобразуютъ короткіа падающія волны въ болѣе длинныя, въ замѣтъ ихъ испускаемые. Лучи невидимые возвышаются въ преломляемости и становятся видимыми. Кромѣ упомянутыхъ тѣлъ, флуоресценцію имѣютъ настой каштановой коры, различные растительные экстракты и многія другія тѣла.

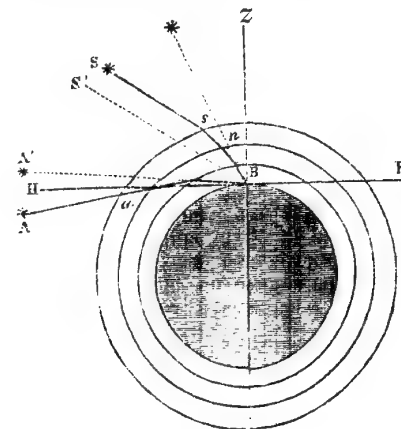
Флуоресценція продолжается пока тѣло подвержено дѣйствію лучей, по превращеніи же дѣйствія сохраняетъ лишь малую долю секунды. *Фосфоресценція* есть свойство тѣлъ свѣтиться въ темнотѣ послѣ того какъ они нѣкоторое время были подвергнуты дѣйствію свѣта—*инсоляци*. Алмазъ, сѣрнистыя соединенія стронція, барія и другихъ тѣлъ имѣютъ это свойство. Наименованіе произошло отъ фосфора, процессъ медленнаго окисленія котораго сопровождается свѣченіемъ. Фосфоресценція въ нѣкоторыхъ тѣлахъ можетъ быть возбуждена нагреваніемъ, треніемъ.

Нѣкоторыя оптическія явленія въ атмосферѣ.

§ 307. Атмосферное преломленіе. Если лучъ проходитъ въ косвенномъ направленіи рядъ слоевъ постепенно увеличивающейся плотности, то онъ, какъ изображено на фиг. 419 постепенно отклоняется отъ первоначальнаго направленія и описываетъ криволинейный путь. Глазъ помѣщенный въ a увидитъ точку r не въ истинномъ ея положеніи, а въ r' , по направленію касательной къ кривой въ точкѣ a . Такое явленіе наблюдается въ земной атмосферѣ и именуется *астрономическимъ преломленіемъ* когда дѣло идетъ о наблюденіи небесныхъ свѣтилъ. Звѣзда S для наблюдателя B кажется (фиг. 420) ближе къ зениту (еслибы атмосферы не было, наблюдатель видѣлъ бы звѣзду по направленію BS' , параллельному Ss , такъ какъ звѣзда находится на безконечно-большомъ разстояніи). Свѣтило A находящееся еще подъ горизонтомъ кажется уже возшедшимъ на горизонтъ. Если свѣтило въ зенитѣ и слѣдовательно лучи его проходятъ атмосферные слои въ перпендикулярномъ направленіи,—преломленія нѣтъ. Дѣйствіе преломленія на чертежѣ предста-



Фиг. 419.



Фиг. 420.

влено преувеличенно; на среднемъ разстояніи между зенитомъ и горизонтомъ (при 45° высоты) оно не болѣе 1 минуты; при горизонтѣ 33 минуты, болѣе слѣдовательно чѣмъ видимый диаметръ солнца (которое потому кажется возшедшимъ когда еще находится подъ горизонтомъ).

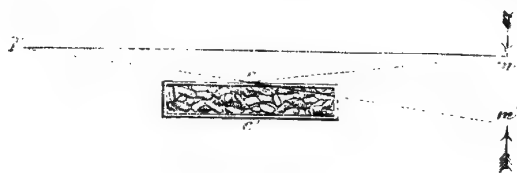
§ 308. Необыкновенное атмосферное преломленіе. Зеркальность воздуха или миражъ. Когда наблюдатель смотритъ не сквозь среду состоящую изъ слоевъ постепенно измѣняющейся

плотности, а *вдоль* ея наслоений (фиг. 421) то при этомъ не-



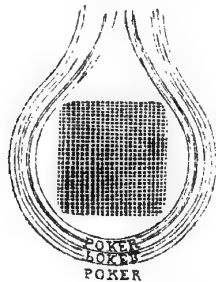
Фиг. 421.

рѣдко можно замѣтить любопытныя явленія преломленія. Наблюдатель можетъ видѣть одновременно и самый предметъ *S*, по прямому направленію, и его отраженное изображеніе усматриваемое благодаря лучу описавшему кривой путь (слои предполагаются уменьшающейся книзу плотности). Такъ если смотрѣть *вдоль* сильно разогрѣтой поверхности на предметъ *m*, то въ *m'* покажется (фиг. 422) его изображеніе, вслѣдствіе отраженія въ самомъ воздухѣ разогрѣтомъ и разрѣженномъ, (темная желѣзная поверхность сама по себѣ не отражаетъ



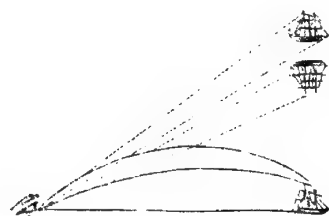
Фиг. 422.

лучей). Вульстенъ, первый изучившій этого рода явленія, смотрѣлъ на написанное на стѣнѣ слово *poker* (кочерга) *вдоль* разогрѣтаго желѣзнаго стержня и получилъ зрѣлище изображенное на фиг. 423. Изображеній замѣчалось даже два, одно обратное, и другое, выше его, прямое. Такія явленія,



Фиг. 423.

нія, иногда въ значительныхъ размѣрахъ наблюдаются въ природѣ на большихъ равнинахъ сильно разогрѣтыхъ

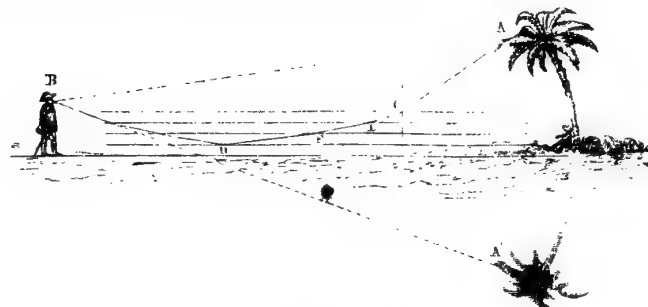


Фиг. 424.

тыхъ солнцемъ, (напримѣръ въ степяхъ Египта, въ нашихъ южныхъ степныхъ мѣстахъ), а также при поверхности (фиг. 424) моря, съ тою разницею что при морѣ нижній слой болѣе холодный и плотный. Названіе *миража* (ze mirage)—зеркальность дано французскими моряками. Во время похода Бонапарта въ Египетъ знаменитый французскій математикъ Монжъ *) наблюдалъ и подробно описалъ этого рода явленіе, указавъ выѣстъ съ тѣмъ и его теорію.

Утромъ и вечеромъ, пишетъ Монжъ, видъ мѣстности таковъ какъ долженъ быть, и между вами и ближайшими селеніями вы видите только землю; но, съ того времени какъ почва достаточно нагрѣется солнцемъ и до вечера когда начнетъ охлаждаться, земля кажется имѣющею иное протяженіе и оканчивающеюся на разстояніи около лье общимъ наводненіемъ. Селенія за этимъ разстояніемъ кажутся какъ бы островами лежащими посреди обширнаго озера... Подъ каждымъ селеніемъ видно его обращенное, не очень ясное, изображеніе, какое увидали бы еслибы дѣйствительно предъ нами была отражающая водная поверхность. По мѣрѣ приближенія къ селенію берегъ кажущейся воды удаляется, рукавъ моря, который, казалось, отдѣлялъ васъ отъ селенія, суживается, наконецъ совсѣмъ исчезаетъ, и явленіе, прекратившееся для этого селенія, воспроизводится для новаго, открывающагося глазу въ издѣжащемъ разстояніи.

Фиг. 25 указываетъ путь лучей производящихъ явленіе миража. Слой прилегающій къ нагрѣтой почвѣ становится зна-



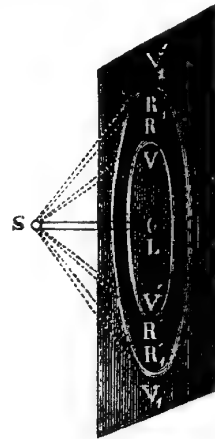
Фиг. 425.

чительно рѣже слоевъ выше лежащихъ. Наблюдатель получаетъ отъ отдаленнаго предмета—вопервыхъ лучъ прямо идущій,

*) Творецъ начертательной геометріи, принимавшій главное участіе въ основаніи знаменитой Парижской Политехнической Школы.

приблизительно вдоль слоя однообразной плотности, в которых лучь свершивший кривой путь. Нижняя части небесного свода, отражаясь подобным же образом, дѣлають впечатлѣніе воднаго пространства.

§ 309. Радуга. Радуга наблюдается когда предъ глазами наблюдателя проходятъ водяныя капли (напримѣръ идетъ дождь, несутся брызги фонтана, водопада) освѣщенные солнцемъ, находящимся сзади его головы. Ученые первые объяснившіе это явленіе основали объясненіе на опытѣ съ стекляннымъ шаромъ наполненнымъ водою и представляющимъ какъ бы водяную каплю огромныхъ размѣровъ. Antonius de Dominis *) (1611 г.) бросилъ пучокъ солнечныхъ лучей на такой шаръ и замѣтилъ, что часть этихъ лучей, пройдя чрезъ шаръ, преломляется, соединяясь въ нѣкоторой точкѣ сзади его, другая же отражается отъ его внутренней поверхности и возвращается коническимъ пучкомъ, окаймленнымъ, при поверхности, воронкою цвѣтныхъ лучей, обозначающихся радужной каймой, если принять отраженный пучекъ на экранъ, какъ изображено на фиг. 426. L есть отверстіе пропускающее лучи, S прозрачный шаръ ихъ отражающій и дающій на экранѣ радужную кайму VR съ фіолетовымъ цвѣтомъ со внутренней и краснымъ съ наружной стороны. На нѣкоторомъ разстояніи отъ первой воронки лучей замѣчается вторая воронка съ фіолетовымъ цвѣтомъ съ наружной стороны, пролагающаяся на экранѣ каймою $R_1 V_1$. Между двумя каймами темный промежутокъ; внутри же конуса образуемаго первою воронкою, а на экранѣ, слѣдовательно, въ пространствѣ окаймленномъ первою каймою — слабое освѣщеніе. Такимъ образомъ прозрачный шаръ, а слѣдовательно и водяная капля, дѣйствуетъ какъ рефлекторъ отражающій падающій на него пучекъ, параллельныхъ лучей въ формѣ двухъ воронкообразныхъ пучковъ каждый изъ семи цвѣтныхъ слоевъ. Тоже явленіе Декартъ оправдалъ, наблюдая шаръ глазами и

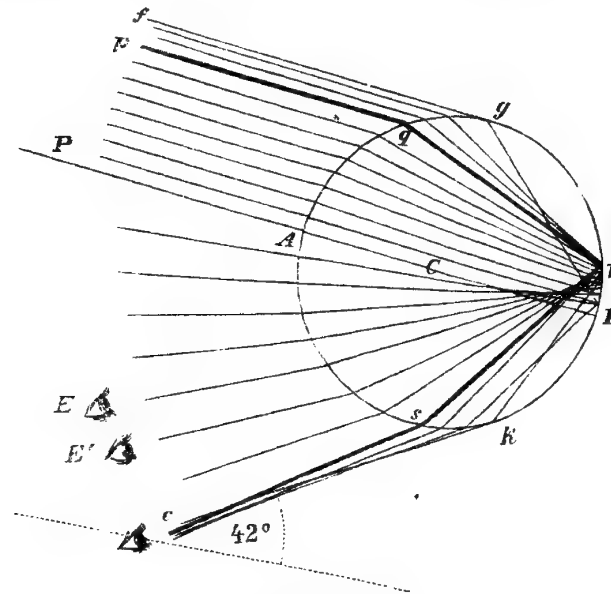


Фиг. 426.

*) Иезуитъ быстро поднявшійся въ церковной іерархіи до званія архіепископа. Обвиненный инквизиціею въ склонности къ протестантскимъ идеямъ удаленъ въ Англію. Къ концу жизни вернулся въ Римъ, отказываясь отъ ученій какихъ держался въ Англіи, но скоро былъ брошенъ въ темницу инквизиціи, гдѣ и умеръ въ 1624 году. Его трупъ и сочиненія были сожжены, и пепелъ брошенъ въ Тибръ.

усматривая яркіе цвѣта, когда глазъ находится при предѣлѣ отраженного конуса. Онъ нашелъ что уголъ соответствующій половинѣ отверстія первой красной воронки составляетъ около 42° , уголъ же второй воронки лучей равняется около 51° . Слои лучей другихъ цвѣтовъ сопровождаютъ красный слой, образуя въ первой воронкѣ углы нѣсколько меньшіе 42° (около 40° для фіолетовыхъ лучей) во второй нѣсколько большіе 51° (около 54° для красныхъ лучей).

Ньютонъ подвергъ вопросъ о пути лучей и разложеніи бѣлаго пучка внутри водяной капли подробному теоретическому изслѣдованію и далъ полное объясненіе происхожденію цвѣтной каймы составляющей радугу. Фиг. 427 представляетъ построенный, на основаніи законовъ преломленія свѣта въ водѣ, точный путь пучка красныхъ лучей $fgAP$, падающихъ на верхнюю половину водяной сферы параллельно между собою и выходящихъ послѣ отраженія отъ ея внутренней поверхности коническимъ пучкомъ. Видимъ что лучи выходящіе при краѣ конуса выходятъ почти параллельной группой, тогда какъ внутренніе расходятся между собою и что предѣльный лучъ se (онъ соответствуетъ не самому крайнему изъ падающихъ, а лучу pq) дѣлаетъ съ направленіемъ пада-

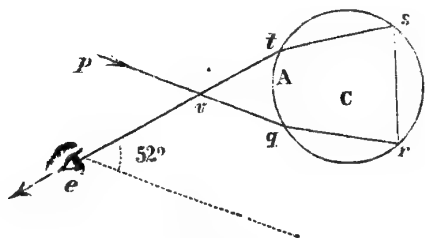


Фиг. 427.

пой, тогда какъ внутренніе расходятся между собою и что предѣльный лучъ se (онъ соответствуетъ не самому крайнему изъ падающихъ, а лучу pq) дѣлаетъ съ направленіемъ пада-

ющих уголъ въ 42° . Если глазъ будетъ находиться по направлению луча se , то онъ ощутитъ впечатлѣніе краснаго цвѣта, хотя бы капля находилась очень далеко, ибо приметъ струю параллельныхъ лучей, сохраняющую одинаковую почти силу освѣщенія вблизи и вдали отъ капли. Находясь гдѣ-нибудь въ E' или E , глазъ не ощутитъ свѣта, ибо сила освѣщенія расходящихся лучей уменьшается по мѣрѣ удаленія. Лучи сосѣдніе съ se называются *дѣйствующими*. Такимъ образомъ если линія проведенная отъ глаза къ отдаленной каплѣ дѣлаетъ съ направлениемъ падающихъ лучей уголъ въ 42° , то капля эта играетъ роль отдаленнаго рефлектора посылающаго въ глазъ струю краснаго свѣта.

Мы прослѣдили путь лучей параллельнымъ пучкомъ падающихъ на верхнюю часть капли и по отраженіи выходящихъ внизъ. Параллельные лучи падающіе на нижнюю часть капли выйдутъ подобнымъ образомъ вверху. Но часть ихъ, послѣ *двоекратнаго* отраженія въ каплѣ, выйдетъ также и внизъ. Такъ лучъ Pq (фиг. 428) отразившись при r , s и преломившись при

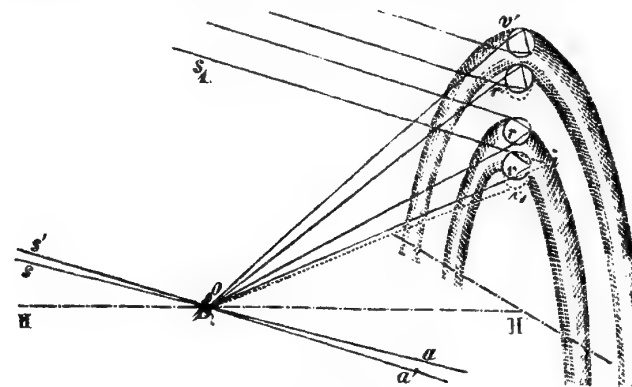


Фиг. 428.

b достигаетъ глаза наблюдателя e . Весь пучокъ такимъ образомъ выходящій будетъ также конусоидальный съ воронкообразнымъ предѣломъ дѣйствующихъ лучей; причемъ уголъ соответствующій красному цвѣту будетъ 52° , фіолетовому 54° . Эти лучи объясняютъ происхожденіе второй коимы на экранѣ въ опытѣ изображенномъ на фиг. 426. Прибавимъ что расходящіеся лучи этого втораго конусоидальнаго пучка находятся въ случаѣ перваго пучка, образованнаго *однократнымъ* отраженіемъ внутри капли. Этимъ объясняется темный промежутокъ между коимами: въ него не попадаетъ отраженныхъ лучей.

Представимъ теперь себѣ (фиг. 429) что предъ глазомъ наблюдателя находится слой водяныхъ капель освѣщенныхъ солнечными

лучами. Проведемъ отъ точки o занимаемой глазомъ линіи os и os' къ краямъ солнца и обратимъ вниманіе, напримѣръ, на лучи выходящіе изъ его нижней точки. По отдаленности солнца, ихъ можно разсматривать какъ параллельные между собою.



Фиг. 429

Начиная разсужденіе, напримѣръ, съ фіолетовыхъ, лучей, проведемъ линію ov , дѣлающую съ направлениемъ лучей sa уголъ 40° ; эта линія будетъ лежать на предѣлѣ фіолетовой струи свѣта отражаемой каплею или точнѣе цѣлымъ рядомъ капель дождеваго слоя лежащаго по этому направленію. Разсуждая относительно лучей идущихъ отъ верхняго края солнца, какъ разсуждали относительно лучей идущихъ отъ верхняго, проведемъ линію ov' дѣлающую съ oa' уголъ 40° , по направленію которой глазъ получаетъ также фіолетовую струю. Не только капли встрѣчаемыя по направленію or и ov' , но и капли лежащія въ цѣломъ коническомъ слое, происходящемъ отъ обращенія этихъ линій вокругъ соответствующихъ имъ линій oa и oa' , при неизмѣнномъ углѣ 40° , будутъ доставлять глазу фіолетовые лучи и слѣдовательно глазъ будетъ видѣть цѣлую фіолетовую дугу шириною въ полградуса (такъ какъ уголъ между направленіями or и ov' равный углу aoa' или vos' , т.-е. угловой величинѣ солнца, составляетъ немного болѣе полградуса); надъ фіолетовою будутъ дуги другихъ цвѣтовъ и наконецъ красная соответственно направленію or и углу 42° . Такъ объясняется первая радуга. Проводя линіи or' и ov' дѣлающія съ направлениемъ oa углы 51° и 54° , объяснимъ происхожденіе второй радуги.

§ 310. Голубой цвѣтъ неба. Если впустить въ темную комнату черезъ отверстіе въ ставнѣ пучокъ солнечныхъ лучей, то путь ихъ обозначится въ воздухѣ вслѣдствіе освѣщенія малѣй-

шихъ пылинокъ носящихся въ комнатѣ и имѣющихъ, согласно Тиндалю, преимущественно органическое происхождение. Разсѣяніе свѣта частицами самого воздуха, согласно тому же изслѣдователю, незначительно, и еслибы воздухъ былъ свободенъ отъ постороннихъ частицъ, а тѣмъ болѣе еслибы лучи проходили въ чистой пустотѣ, то путь его не былъ бы виденъ со стороны и надо бы было помѣстить глазъ въ самомъ пучкѣ чтобы ощутить свѣтъ. Разсѣяніемъ лучей малѣйшими частицами носящимися въ воздухѣ Тиндаль объясняетъ происхождение голубаго цвѣта неба, основываясь на опытахъ съ химическимъ разложеніемъ нѣкоторыхъ веществъ (преимущественно органическаго происхожденія, какъ азотистокислый нитрилъ, таковой же бутилъ и многія другія) дѣйствіемъ лучей солнечныхъ или электрическаго свѣта. Заклячая небольшое количество пара такихъ веществъ въ цилиндрической стеклянной трубкѣ, концы которой задрваны стеклянными же прозрачными пластинками и пропуская лучокъ лучей вдоль оси трубки,—сдѣлавъ его при томъ, помощію внѣшняго стекла, сходящимся въ фокусъ внутри трубки,—онъ нашелъ что слѣдъ пучка въ началѣ опыта незамѣтный, скоро начинаеть обозначаться, вслѣдствіе разложенія пара и выдѣленія мельчайшихъ частицъ. Пока частицы крайне мелки, слѣдъ лучей представляется голубымъ—цвѣтъ небесной лазури; цвѣтъ этотъ переходитъ, при возрастаніи величины частицъ, въ блѣдн. облачный, и слѣдъ получаетъ видъ тончайшаго клубящагося дыма. Тиндаль не рѣшаетъ вопроса отъ какихъ собственно частицъ происходитъ атмосферное разсѣяніе, но опыты его вообще указываютъ что самое незначительное количество вещества приведеннаго въ состояніе мельчайшихъ капелекъ или пылинокъ, сравнительно съ которыми капельки или пылинки доступныя микроскопу суть тѣла громаднѣйшей величины, въ состояніи наполнить разсѣяннымъ свѣтомъ весьма значительное пространство. Еслибы не было атмосферы, то солнце и звѣзды представлялись бы ярко свѣтящимся кругомъ и свѣтлыми точками на совершенно черномъ фонѣ; вокругъ насъ были бы рѣзкіе переходы отъ свѣта къ тѣни и мы не имѣли бы того болѣе или менѣе однообразнаго освѣщенія, какое теперь имѣемъ при дневномъ свѣтѣ, когда не только самое солнце но и всякая часть небеснаго свода, облетающаго землю свѣтлымъ шатромъ, доставляетъ свѣтъ.

§ 311. Задачи. 1) Въ ставнѣ темной комнаты сдѣлано отверстіе въ 1 сантиметръ діаметра и пропущены солнечные лучи принятые на экранъ, поставленный перпендикулярно къ оси пучка на разстояніи 3 метровъ отъ отверстія. Какъ велико будетъ изображеніе солнца (видимый его діаметръ = $32\frac{1}{2}$)? 2) Высота солнца въ полдень надъ горизонтомъ $52^{\circ} 20'$. Найти высоту дерева бросающаго тѣнь 80 футовъ длиною. 3) Два источника свѣта разстоятъ одинъ отъ другаго на n метровъ; напряженіе свѣта перваго есть a , втораго b . Гдѣ надо поставить экранъ между ними чтобы онъ съ двухъ сторонъ былъ освѣщенъ одинаково? 4) Наблюдатель смотритъ въ небольшое плоское зер-

нало, такъ что всего себя въ немъ не видитъ. Найти построеніемъ какую часть онъ видитъ. 5) Два зеркала поставлены подъ прямымъ угломъ одно къ другому; линія ихъ раздѣла помѣщена горизонтально. Объяснить почему наблюдатель, смотря въ такое сложное зеркало, видитъ себя верхъ ногами. Какъ видитъ онъ себя при другихъ положеніяхъ зеркала. Подобные опыты съ прямоугольною призмою. 6) Приложение формулъ вогнутаго зеркала и собирающаго стекла къ рѣшенію различныхъ задачъ о мѣстѣ и величинѣ изображенія, фокусномъ разстояніи, кривизнѣ зеркала или стекла. Приложение къ случаю мнимыхъ изображеній. Приложение формулъ вогнутаго зеркала и разсѣивающаго стекла. 7) Воздушныя линзы и ихъ противоположность съ стеклянными линзами. Какъ дѣйствуетъ слой воздуха помѣщенный внутри, напримѣръ, воды и ограниченный а) выпуклыми поверхностями (разсѣивающее воздушное стекло); б) вогнутыми поверхностями (собирающее воздушное стекло). 8) Собирающее стекло въ разстояніи 24 центиметровъ отъ стѣны даетъ отчетливое изображеніе свѣчи; если приблизить стекло на 12 центиметровъ, то оказывается что для полученія отчетливаго изображенія свѣчи ея разстояніе отъ стекла надо удвоить. Найти фокусное разстояніе стекла. 9) Объяснить явленіе отраженія въ передней и задней поверхности стекла той или другой формы (двойно-выпуклаго, плоско-выпуклаго, двойно-вогнутаго и т. д.). Вогнутое зеркало, образованное изъ двойно-выпуклаго стекла, котораго задняя поверхность покрыта амальгамою. 10) Два собирающія стекла, въ 5 центим. фокуснаго разстоянія каждое, поставлены одно за другимъ въ разстояніи 3 центим. Изучить оптическое дѣйствіе такой системы на кружокъ въ 1 центим. діаметра поставленный на разныхъ разстояніяхъ. 11) Зрѣніе въ сходящихся лучахъ. Поставивъ предъ вогнутымъ зеркаломъ, между фокусомъ и центромъ, свѣчу получимъ ея воздушное обратное изображеніе; но если наблюдатель помѣститъ глазъ ближе къ зеркалу чѣмъ мѣсто изображенія, то увидитъ отраженіе свѣчи въ прямомъ видѣ; объяснить это явленіе. 12) Поставимъ предъ собирающимъ стекломъ экранъ съ малымъ отверстіемъ соотвѣтственно центру стекла. Гдѣ надо помѣстить глазъ чтобы, смотря чрезъ стекло, не замѣчать экрана съ его прорѣзомъ а видѣть такъ какъ еслибы стекло дѣйствовало всѣмъ своимъ отверстіемъ (только съ ослабленіемъ яркости). 13) Свѣча поставлена предъ вогнутымъ зеркаломъ между центромъ и фокусомъ такъ что ея изображеніе рисуется на поставленномъ въ нѣкоторомъ разстояніи экранѣ. Маленькое непрозрачное препятствіе сзади свѣчи загоразиваетъ ее такъ что она можетъ посылать лучи только на зеркало, а не прямо на экранъ. На пути лучей между зеркаломъ и экраномъ помѣстимъ непрозрачное препятствіе съ маленькимъ отверстіемъ и за нимъ на небольшомъ разстояніи листокъ бумаги. На бумагѣ получится маленькое обратное изображеніе свѣчи. Объяснить это явленіе. 14) Предметъ стоитъ передъ стекломъ; изо-

бражение рисуется на экранѣ. Что произойдетъ, если на место экрана поставить плоское или вогнутое зеркало? 15) По данному показателю преломленія опредѣлить уголъ съ ка-кого начинается полное внутреннее отраженіе. 16) Сравненіе увеличенія лупъ, сдѣланныхъ изъ разныхъ веществъ, но имѣющихъ одинаковую кривизну (напримѣръ сравненіе лупы изъ стекла съ лупою изъ алмаза). 17) Наблюдатель видитъ ясно на разстояніи n сантиметровъ; желаетъ видѣть ясно предметъ находящійся на разстояніи n' сантиметровъ. Какое стекло онъ долженъ взять? 18) Лучъ входитъ въ призму подъ угломъ паденія 20° , уголъ призмы 40° . Найти уголъ при выходѣ и отклоненіе, если показатель $n=1,5$. 19) Чтобы опредѣлить показатель преломленія флинта для красныхъ лучей (линія В) измѣрить уголъ минимума отклоненія $=27^\circ 47' 56''$. Уголъ призмы $36^\circ 24' 50''$. Какъ великъ искомый показатель? 20) Какъ видоизмѣнить формулу $\frac{1}{F} = (n-1) \left(\frac{1}{R'} + \frac{1}{R''} \right)$ въ случаѣ плоско-выпуклаго стекла, въ случаѣ менисковъ?

ОТДѢЛЪ ЧЕТВЕРТЫЙ. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМЪ.

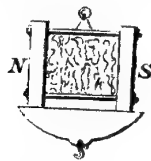
I. Начальные факты магнетизма.

§ 312. Естественные магниты. Во многихъ мѣстахъ пластами и цѣлыми горами (таковы, напримѣръ, гора Благодать и Высокая гора въ Уральскомъ хребтѣ, нѣкоторыя горы въ Швеціи и Норвегіи) встрѣчается желѣзная руда чернаго цвѣта называемая магнитнымъ желѣзнякомъ. Отдѣльные куски этой руды, особенно полежавшіе на воздухѣ и отчасти заржавленные, нѣрѣдко имѣютъ свойство притягивать желѣзо. Такіе куски называются *естественными магнитами*. Если повалять магнитъ въ желѣзныхъ опилкахъ, то они пристанутъ къ его поверхности, преимущественно въ мѣстахъ именуемыхъ его *полюсами*. Чтобы съ удобствомъ обнаружить способность магнита держать приложенное желѣзо, обыкновенно обкладываютъ обѣ его стороны, соответствующія полюсамъ, желѣзною оправой (фиг. 430) въ формѣ полосъ, въ концамъ которыхъ предлагается третья полоса пленуемая *якоремъ*. Оправа не только дѣлаетъ опытъ удобнымъ, но и увеличиваетъ силу магнита. Грузъ потребный для того чтобы оторвать якорь отъ

магнита служить мѣрою его силы. Фиг. 431 изображает большой естественный магнитъ съ его оправою и грузомъ.

Малые магниты могутъ вообще держать, сравнительно съ своимъ вѣсомъ, болѣе значительный грузъ чѣмъ большіе (очень маленькіе магниты держатъ въ 30, 40 разъ болѣе своего вѣса; тогда какъ кусокъ въ 2 фунта уже рѣдко держитъ болѣе десятикратнаго собственного вѣса). Какъ примѣръ большаго магнита можно привести магнитъ Тейлорова музея въ Голландіи, который съ оправою вѣситъ триста фунтовъ и держитъ грузъ болѣе 230 фунтовъ.

Свойство магнита притягивать желѣзо известно съ древности. Самое имя произошло отъ города Магнези, въ Лидіи, недалеко отъ нынѣшней Смирны, гдѣ по преданію найдены первые маг-

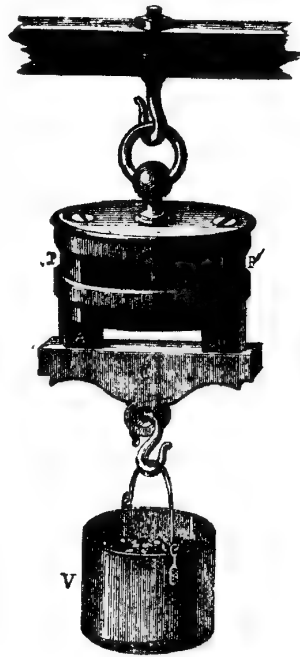


Фиг. 430.

ниты *). Нельзя сказать когда сдѣлалось извѣстнымъ свойство подвижнаго магнита или намагниченной стрѣлки (компасъ) становиться по направленію отъ сѣвера къ югу. Древнѣйшимъ сочиненіемъ въ Европѣ, въ которомъ упоминается о

*) Римскій натуралистъ Плиній передаетъ сказаніе что магнитъ получилъ наименованіе отъ имени пастуха Магнеса, замѣтившаго будто бы что гвозди его обуви и кончики палки въ нѣкоторыхъ мѣстахъ пристають къ горѣ Идѣ. Въ стихахъ Лукреція, описывающаго многія свойства магнита: притяженіе, отталкиваніе, передачу дѣйствія чрезъ желѣзо, говорится:

Quem magneta vocant patrio de nomine Graii
Magnetum quia sit patriis in montibus ortus.



Фиг. 431.

компасъ считается рукопись XII вѣка, въ стихахъ, *) на старомъ французскомъ языкѣ, приписываемая нѣкоторому Guyot de Provins. Васко де Гама и Колумбъ пользовались компасомъ, и послѣдній открылъ что стрѣлка направлена не строго на сѣверъ, а дѣлаетъ съ меридіаномъ уголъ, различный въ разныхъ мѣстахъ (склоненіе стрѣлки). Стрѣлки намагничивали натираніемъ и, сколько можно судить изъ письма (1544) викарія въ Нюрнбергѣ Гартмана (къ герцогу Альбрехту Прусскому), не знали что если положить на поплавокъ самый магнитъ, который чрезъ натираніе сообщитъ концу стрѣлки свойство направляться на сѣверъ, то магнитъ этотъ станетъ къ югу тѣмъ полюсомъ о который натирали конецъ стрѣлки (опытъ доказывающій что чрезъ натираніе сообщается противоположный магнетизмъ). Кромѣ стрѣлки другіе искусственные магниты не были въ употребленіи до тридцатыхъ годовъ XVIII вѣка (Галлей, впрочемъ, по свидѣтельству его ученика Кастелли, занимался приготовленіемъ небольшихъ искусственныхъ магнитовъ), и англійскій врачъ Гильбертъ **), авторъ знаменитаго сочиненія *О магнитѣ* (De Magnete, 1600), основаннаго на опытахъ и принадлежащаго къ числу важнѣйшихъ трудовъ XVII вѣка, которыми положено основаніе экспериментальной методѣ изслѣдованія природы, — пользовался при своихъ опытахъ естественными магнитами. Онъ давалъ имъ шаровидную форму (terella), по аналогіи съ земнымъ шаромъ, который разсматривалъ какъ большой магнитъ.

§ 313. Искусственные магниты. Искусственными магнитами называются намагниченные (натираніемъ о

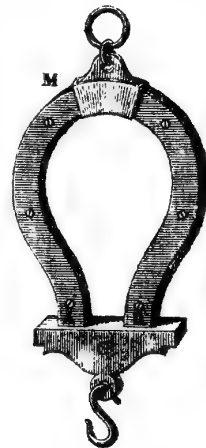
*) Въ этихъ стихахъ говорится что если коснуться иглой темнаго камня (une pierre laide et brunière où li fers volontiers se joint), положить ее на соломенку и пустить въ сосудъ на воду, то игла направляется къ сѣверу (къ полярной звѣздѣ). Ею пользуются моряки.

Quant la mer est obscure et brune,
Quant ne voit estoile ni lune,
Dont font à l'aiguille allumer
Puis n'ont ils garde d'esgarer.
Contre l'estoile va la poincte.

Неаполитанецъ Флавій Жюйя (Flavius Gioja) укрѣпилъ стрѣлку на острѣ, поставивъ его въ центрѣ цинсербата съ обозначеніемъ странъ свѣта.

**) Гильбертъ приглашалъ ученыхъ не только пользоваться тѣмъ что добыто древними, но и двинуть науку впередъ собственными изысканіями, руководствуясь правиломъ „libere philosophari, eadem licentia qua olim Aegyptii, Graeci, Latiniq; sua dogmata divulgabant“.

естественные или о другіе искусственные магниты) стальные полосы, соединяемыя обыкновенно въ пучки и которымъ нерѣдко даютъ подковообразную (фиг. 432) форму. Они могутъ быть доведены до значительной силы и по удобству употребленія предпочитаютъ естественнымъ магнитамъ. Къ искусственнымъ магнитамъ принадлежатъ *электро-магниты*, состоящіе изъ куска мягкаго желѣза обмотаннаго проволокой, чрезъ которую пропускается электрический токъ. Электро-магниты безъ сравненія превосходятъ своею силою всякіе другіе магниты и потому нынѣ исключительно употребляются въ опытахъ гдѣ требуется значительная магнитная сила.



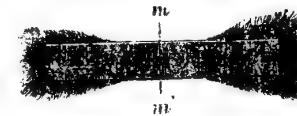
Фиг. 432.

Искусственные магниты изъ стальныхъ на магниченныхъ проволокъ соединенныхъ въ общій пучокъ были въ 1730 году представлены Лондонскому Королевскому Обществу англійскимъ ученымъ Савери (Savery). Умѣньемъ готовить искусственные магниты значительной силы особенно прославился въ срединѣ прошлаго столѣтія искусный строитель компасовъ Англичанинъ Кнайтъ (Knight), державшій свою методу намагничиванія въ секретѣ.

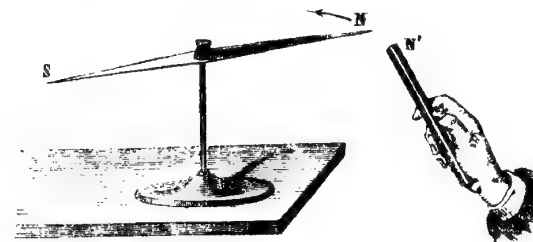
§ 314. Начальные факты магнетизма. 1) *Притяженіе желѣза*, обнаруживающееся не только при прикосновеніи, когда поднесенный кусокъ какъ бы прилипаетъ къ магниту, но и на разстояніи. Дѣйствіе это (какъ и взаимодѣйствіе двухъ магнитовъ) обнаруживается безъ замѣтнаго ослабленія чрезъ всякаго рода тѣла, дерево, камни, стекло и проч., за исключеніемъ тѣлъ способныхъ намагничиваться, какъ желѣзо и нѣкоторые другіе *). 2) *Полярность*. Обнаруживается, въпервыхъ,

*) Ниже увидимъ что всѣ тѣла болѣе или менѣе подвержены дѣйствію магнита, но обнаружить это можно только помощію особенно сильныхъ магнитовъ.

приставленіемъ опилокъ преимущественно къ концамъ магнита (фиг. 433) или его *полюсамъ* (опытъ особенно ясенъ если взять стальной искусственный магнитъ въ формѣ полосы), тогда какъ въ срединѣ замѣтнаго дѣйствія нѣтъ. Полярность обнаруживается, вторыхъ, тѣмъ что магнитъ, —будетъ ли то кусокъ естественнаго магнита или намагниченная полоса или стрѣлка, —будучи сдѣланъ удобоподвижнымъ въ горизонтальной плоскости (повѣшенъ помощію стремени на нити или помѣщенъ на поплавкѣ, или поставленъ на острѣѣ), всегда направляется такъ что ось его становится (приблизительно) по меридіану. Полюсъ магнита или стрѣлки смотрящій на сѣверъ именуется *сѣвернымъ*, другой *южнымъ*. Если отмѣтить полюсы и подносить одинъ магнитъ (фиг. 434),



Фиг. 433.



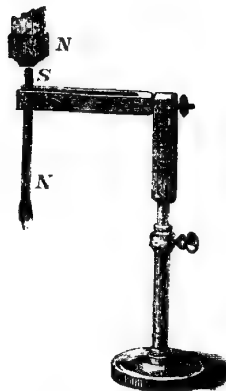
Фиг. 434.

держа его, напримѣръ, въ рукѣ, —къ другому подвижному, то не трудно убѣдиться что ихъ *одноименные полюсы отталкиваются между собою, а разноименные притягиваются*. Каждый магнитъ имѣетъ оба полюса: нельзя имѣть магнитъ съ однимъ полюсомъ; и если

переломить магнитную полосу (фиг. 435) по срединѣ, то оба отломка представляютъ полные магниты, съ полюсами на концахъ: мѣсто гдѣ при цѣльномъ магнитѣ не обнаруживалось дѣйствія начинаетъ притягивать опилки и становится полюсомъ,—южнымъ, если отломленъ южный конецъ, и наоборотъ. 3) *Магнитное вліяніе*. Если поднести къ магниту кусокъ мягкаго желѣза, то кусокъ этотъ (фиг. 436) самъ намагничивается



Фиг. 435.



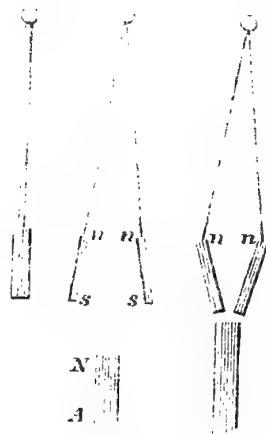
Фиг. 436.

и становится временнымъ магнитомъ, съ обоими полюсами, причемъ если кусокъ приближенъ къ сѣверному полюсу, то на ближайшемъ его концѣ возбуждается южный полюсъ *S* (притягиваемый), на удаленномъ одноименный сѣверный *N* (отталкиваемый). Присутствіе и качество полюсовъ можно обнаружить прилипаніемъ опилокъ, дѣйствіемъ на маленькую близко подносимую стрѣлку, намагниченіемъ стальной иглы. Магнитнымъ вліяніемъ, то-есть временнымъ намагниченіемъ ку-

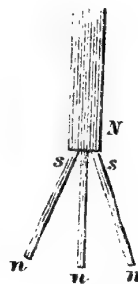
ска желѣза, объясняется самое притяженіе желѣза магнитомъ: оно есть слѣдствіе взаимнаго притяженія полюса магнита и временнаго противоположнаго полюса возбужденнаго въ ближайшемъ къ магниту концѣ желѣза. Всѣ магнитныя явленія въ мягкомъ желѣзѣ объясняются дѣйствіемъ магнитнаго вліянія. Временный магнетизмъ этотъ возбуждается тотчасъ по поднесеніи желѣза и тотчасъ же исчезаетъ при его удаленіи. 4) *Намагничиваніе*. Если вмѣсто мягкаго желѣза поднести къ какому-нибудь полюсу магнита кусокъ стали, то магнитное вліяніе обнаруживается и въ этомъ случаѣ, но съ тою разницей что оно бываетъ вообще слабѣе чѣмъ въ случаѣ желѣза; возбужденіе магнетизма достигаетъ наибольшей соотвѣствующей данному случаю величины не тотчасъ, а постепенно, но за то значительная часть возбужденнаго магнетизма сохраняется и послѣ того какъ кусокъ удаленъ отъ магнита: сталь приобретаетъ *постоянную* магнитность, становится болѣе или менѣе сильнымъ искусственнымъ магнитомъ. Замѣтимъ что случай мягкаго желѣза приобретающаго магнитность лишь тогда оно находится въ присутствіи магнита и *безъ слѣда* ее теряющаго при удаленіи есть, строго говоря, случай теоретическій. На практикѣ желѣзо обыкновенно сохраняетъ нѣкоторый *остаточный* магнетизмъ, и между идеальнымъ мягкимъ желѣзомъ, къ которому практически употребляемые куски могутъ болѣе или менѣе приближаться, и сталью есть цѣлый рядъ постепенныхъ переходовъ.

§ 315. *Нѣсколько опытовъ, объясняемыхъ магнитнымъ вліяніемъ*. 1) Замѣчено что *притяженіе* разноименныхъ полюсовъ двухъ приближенныхъ концами магнитовъ значительно сильнѣе, чѣмъ отталкиваніе ихъ одноименныхъ полюсовъ въ подобномъ же случаѣ. Это есть слѣдствіе вліянія, ибо когда прикасаются, или близки между собою, разноименные полюсы, то дѣйствіе вліянія имѣетъ результатомъ усиленіе ихъ противоположнаго намагниченія. Но если сближены одноименные полюсы, то вліяніе имѣетъ обратное значеніе: полюсъ перваго магнита возбу-

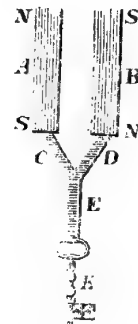
жадетъ въ приближенномъ концѣ втораго противоположную магнитность, которая и ослабляетъ силу находящагося тамъ одноименнаго съ первымъ полюса. Если одинъ, магнитъ силенъ то дѣйствіе вліянія беретъ верхъ надъ постояннымъ магнетизмомъ: маленький магнитъ притягивается большимъ хотя бы былъ поднесено къ нему одноименнымъ полюсомъ, испытывающимъ, при достаточномъ разстояніи, отталкиваніе. 2) Повѣсивъ на нитяхъ (фиг. 437) двѣ небольшія полоски мягкаго желѣза, приблизимъ ихъ къ какому-нибудь, напримѣръ къ сѣверному, полюсу N магнита. Концы s и s сбѣгаются южными полюсамъ, концы n и n сѣверными. Какъ тѣ такъ и другіе взаимно оттолкнутся. Отталкиваніе еще увеличится, если магнитъ станетъ ближе; но на нѣкоторомъ разстояніи притяженіе полюса N пересилитъ взаимное отталкиваніе полюсовъ s , и они сблизятся, тогда какъ n и n будутъ продолжать отталкиваться. Отъ подобной же причины расходятся концы n желѣзныхъ полосокъ приставшихъ къ полюсу сильнаго магнита (фиг. 438). 3) Приложимъ вилкообразную полоску желѣза (фиг. 439) вѣтвию D къ



Фиг. 437.



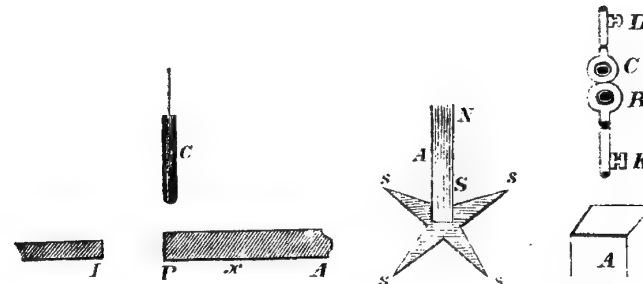
Фиг. 438.



Фиг. 439.

полюсу N магнита B ; полоса намагнитится чрезъ вліяніе, и конецъ E обнаружитъ южный полюсъ, который и притянетъ ключъ K . Но если другою вѣтвию C прикоснемся въ то же время къ полюсу S одинаковаго съ B магнита A , то ключъ упадетъ, ибо магнитъ A возбуждетъ въ E сѣверный полюсъ, который и уничтожитъ или нейтрализуетъ южный магнетизмъ возбужденный магнитомъ B . 4) Привѣсивъ полоску C мяг-

каго желѣза (фиг. 440) къ коромыслу вѣсовъ, помѣстимъ подъ нею конецъ P магнита PA и уравновѣсимъ притяженіе магнита грузомъ положеннымъ на противоположную чашку вѣсовъ. Если приблизить другую полоску желѣза I , то въ ея ближайшемъ къ P концѣ возбудится противоположный полюсъ, котораго дѣйствіе и ослабитъ дѣйствіе полюса P ; грузъ перетянетъ, свидѣтельствуя что сила тянущая желѣзо C внизъ уменьшилась. 5) Если приблизить къ срединѣ куска мягкаго желѣза, имѣющаго звѣздообразную форму (фиг. 441), полюсъ (напримѣръ южный) магнита, то въ центрѣ звѣзды возбудится сѣверный полюсъ, а при конкахъ будутъ южные полюсы. Если бы вмѣсто звѣзды былъ кругъ, то южнымъ полюсомъ была бы каждая точка его окружности. Такое возбужденіе полярности уясняетъ почему желѣзо помѣщенное между магнитомъ



Фиг. 440.

Фиг. 441.

Фиг. 442.

и стрѣлкою или другимъ кускомъ желѣза какъ бы задерживаетъ дѣйствіе магнита, играя роль заграживающаго экрана. Листъ желѣза помѣщенный, напримѣръ, между полюсомъ P (фиг. 440) и кускомъ C пріобрѣтаетъ около линіи соединяющей P съ C протовоположную съ P полярность и оказываетъ на C дѣйствіе противное дѣйствію P . 5) Надъ сильнымъ магнитомъ помѣщаютъ (фиг. 442) два куска совершенно ненамагниченнаго желѣза, напримѣръ два желѣзные ключа, такъ что ключъ C пристанетъ къ ключу B . Держа въ рукѣ ключъ C , можно оба удалить на довольно значительное разстояніе отъ магнита и ключъ B не упадетъ. Притяженіе между C и B (въ прикосновеніи) сильнѣе чѣмъ между A и K (на разстояніи). Если ключъ C вывести въ бокъ отъ направленія продолженной оси магнита, то ключъ B приметъ наклонное положеніе, свидѣтельствующее что магнитъ A конецъ K сильно притягиваетъ.

§ 316. Законы взаимнаго дѣйствія магнитовъ. Опытъ съ опилками, пристающими главнымъ образомъ къ концамъ магнитной полосы, свидѣтельствуетъ что дѣйствіе магнита можно разсматривать какъ бы сосредоточеннымъ при его концахъ или полюсахъ. Если примемъ такое допущеніе, то взаимное дѣйствіе двухъ магнитовъ приводится къ четыремъ силамъ: притяженіе оказываемое полюсомъ N перваго магнита на разноименный полюсъ втораго; отталкиваніе оказываемое тѣмъ же полюсомъ на оодноименный полюсъ втораго; притяженіе полюса S перваго магнита и разноименнаго полюса втораго и, наконецъ, отталкиваніе между полюсомъ S перваго магнита и одноименнымъ полюсомъ втораго. Какъ показали изслѣдованія французскаго ученаго конца прошлаго столѣтія, Кулона*) и другихъ ученыхъ, дѣйствіемъ такихъ силъ, — если притомъ принять что притяженія и отталкиванія каждаго двухъ полюсовъ измѣняются *обратно пропорціонально квадрату ихъ взаимнаго разстоянія*, — объясняются всѣ случаи взаимнаго дѣйствія двухъ магнитовъ, если только они не близко находятся одинъ отъ другаго (въ случаѣ близости нельзя приводить дѣйствіе цѣлаго магнита къ дѣйствію двухъ его точекъ — полюсовъ) и если въ явленіи не участвуетъ магнитное вліяніе. Въ случаѣ магнитовъ изъ хорошо закаленной стали, не близко помѣщенныхъ одинъ отъ другаго, дѣйствіе вліянія можно считать ничтожнымъ и магниты *постоянными*. Можно выразить формулой взаимное дѣйствіе двухъ полюсовъ, находящихся на разстояніи r одинъ отъ другаго и магнитное напряженіе которыхъ (или *количество магнетизма* въ нихъ сосредоточеннаго) есть перваго m , втораго m' . Дѣйствіе будетъ пропорціонально выраженію $\frac{m \cdot m'}{r^2}$.

§ 317. Ученіе о магнитныхъ элементахъ. Въ чемъ состоитъ намагниченіе. Лишь приблизительно можно разсматривать дѣйствіе магнита сосредоточеннымъ въ его полюсахъ. Было уже упомянуто что каждая отломленная отъ магнита часть обнаруживаетъ полярность и является сама полнымъ магнитомъ. На основаніи этого факта можно весь магнитъ разсматривать какъ совокупность маленькихъ магнитовъ или *магнитныхъ элементовъ*. Сложенные вмѣстѣ, такъ что ихъ одинаковые полюсы смотрятъ въ одну сторону, они образуютъ магнитъ и оказываютъ совокупное дѣйствіе, которое, — когда оно простирается *далеко*, — можно приблизительно разсматривать какъ бы выходящимъ изъ двухъ центровъ противоположнаго свойства, име-

*) Родился въ Ангумерѣ въ 1736 году, былъ инженеромъ, но при началѣ революціи оставилъ службу. Членъ Французскаго Института. Прославился изслѣдованіями въ области магнетизма и электричества, сдѣланными главнымъ образомъ помощью изобрѣтенныхъ имъ *крутильных тисовъ*. Умеръ 1806 года.

нуемыхъ полюсами. Изучая притягательныя и отталкивательныя дѣйствія *вблизи* самаго магнита, можно убѣдиться что дѣйствіе магнита въ срединѣ (предполагаемъ магнитъ искусственный, имѣющій форму полосы) равно нулю и увеличивается отъ средины къ концамъ (уже опытъ съ опилками, пристающими въ обиліи къ концамъ и оставляющими средину свободною, свидѣтельствуетъ о такомъ распредѣленіи магнетизма). Изъ того что средина не обнаруживаетъ дѣйствія не слѣдуетъ однако что элементы лежащіе въ срединѣ магнита не намагничены. Составляя полосу изъ отдѣльныхъ частей плотно сближенныхъ и намагнитивъ ее какъ бы одну полосу, получимъ искусственный магнитъ съ магнетизмомъ возрастающимъ отъ средины къ концамъ. Но если раздѣлимъ полосу на ея части, то можно убѣдиться что части соотвѣтствующія срединѣ не только намагничены, но и намагничены еще сильнѣе крайнихъ, хотя дѣйствующими, или какъ это говорится, имѣющими *свободный магнетизмъ*, оказываются главнымъ образомъ эти послѣднія

Относительно явленія *намагниченія*, т.-е. того какимъ образомъ въ кускѣ желѣза или стали обнаруживаются *магнитные элементы*, есть два воззрѣнія. Согласно одному изъ нихъ, допускается что магнитные элементы находятся уже и въ ненамагниченномъ кускѣ, но не имѣютъ тамъ *правильнаго* расположенія; оси ихъ не параллельны между собою, а имѣютъ всевозможныя направленія, вслѣдствіе чего магнитное дѣйствіе всего куска на какую-нибудь вѣшную точку равно нулю: одна часть элементовъ оказываетъ притягательное дѣйствіе, тогда какъ другая отталкивательное, и вслѣдствіе случайности распредѣленія элементовъ нѣтъ основанія чтобы одно дѣйствіе преобладало надъ другимъ. Намагничиваніе состоитъ въ томъ что элементы эти въ значительномъ числѣ поворачиваются внутри куска такъ что оси ихъ приближаются къ параллельности, направляясь одноименными полюсами въ одну сторону, въ зависимости отъ качества намагничивающаго полюса. Въ мягкомъ желѣзѣ такое поворачиваніе элементовъ не встрѣчаетъ препятствій, и тѣло это легко магнитится, но легко также и теряетъ магнетизмъ, когда съ удаленіемъ намагничивающей причины, элементы опять возвращаются въ прежнее положеніе, зависящее отъ взаимнаго дѣйствія частицъ помимо магнитныхъ свойствъ. Въ стали поворачиваніе элементовъ встрѣчаетъ значительныя препятствія, но элементы разъ выведенные изъ своего положенія въ новое устанавливаются въ немъ прочно и, по удаленіи намагничивающей причины, не возвращаются назадъ: кусокъ приобретаетъ постоянный магнетизмъ.

Согласно другому представленію, полярность въ элементахъ куска возбуждается только дѣйствіемъ намагничивающей причины, и намагниченіе состоитъ не въ поворачиваніи готовыхъ магнитныхъ элементовъ, а во внутреннемъ измѣненіи каждаго элемента, вслѣдствіе котораго онъ приобретаетъ полярность,

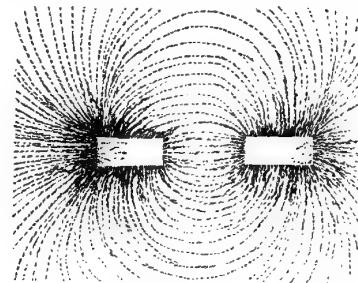
становится магнитнымъ. Чтобы пояснить въ чемъ можетъ состоять это внутреннее измѣненіе, прибѣгають обыкновенно къ гипотезѣ магнитныхъ жидкостей. Допускается что существуютъ двѣ магнитныя жидкости *); частицы каждой изъ нихъ взаимно отталкиваются, частицы же одной притягиваются частицами другой. Въ немагнитичномъ элементѣ частицы смѣшаны между собою и будучи въ одинаковомъ количествѣ нейтрализуются взаимно. Подъ вліяніемъ намагничивающей причины одна изъ жидкостей скопляется у одного, другая у другого конца элемента: онъ пріобрѣтаетъ полярность. Съ удаленіемъ причины, жидкости вновь соединяются. Такимъ образомъ объясняется временное намагниченіе желѣза магнитное вліяніе. Въ элементахъ стали есть какое-то препятствіе передвиженію жидкостей и потому онѣ раздѣляются съ трудомъ, но разъ раздѣленные остаются такими, несмотря на взаимное притяженіе. Многие предпочитаютъ первое воззрѣніе, такъ какъ оно легче согласуется съ электрическою теоріей магнитныхъ явленій, о которой скажемъ ниже.

§ 318. Вліяніе теплоты на магнитное состояніе тѣла. Сила постоянного магнита, искусственнаго или естественнаго, умень-

*) Объясненіе явленій магнетизма помощію особой магнитной жидкости, характеризующейся тѣмъ что частицы ея отталкиваются одна другою, утверждено въ наукѣ Эпинусомъ (членомъ Петербургской Академіи Наукъ), въ срединѣ прошлаго столѣтія. Впослѣдствіи приняли двѣ жидкости: частицы каждой изъ нихъ взаимно отталкиваются, частицы одной притягиваются частицами другой. Уже первые изслѣдователи электрическихъ и магнитныхъ явленій говорили объ электрической и магнитной матеріяхъ, но дѣйствіе ихъ объясняли не притягательными и отталкивательными силами, а тѣмъ что онѣ образуютъ собою потоки или вихри, проходящіе чрезъ одни тѣла, увлекающіе другія. Франклинъ высказалъ гипотезу объ электрической жидкости со взаимно отталкивающимися частицами. Эпинусъ разработалъ эту теорію математически и распространилъ на магнитныя явленія. Такъ какъ въ ту эпоху многіе ученые идею о потокѣ вещества считали болѣе яснымъ механическимъ представленіемъ чѣмъ идею о притягательной или отталкивательной силѣ, то Эпинусъ, отвѣчая на нѣ, дѣлаетъ (въ рѣчи *О сходствѣ электрической силы съ магнитною*, произнесенной въ Петербургѣ въ 1758 году и изданной по-латыни и по-русски) слѣдующія замѣчанія. „Что такія силы въ самой натурѣ есть, то ясно видимъ, и что всѣхъ явленій онѣ суть главныя и начальныя причины, хотя начало ихъ намъ безызвѣстно. Я не понимаю въ чемъ тотъ погрѣшаетъ кто явленія изъ первоначальныхъ силъ изъясняетъ, хотя бы начало ихъ было неизвѣстно. Правда что неосторожныя великаго Ньютона послѣдователи ученіе его тѣмъ попортили, что притягательную и отталкивательную силы за природное тѣламъ качество почитаютъ и никакой внешней причины упомянутыхъ

шается по мѣрѣ возвышенія температуры; но если возвышеніе было не велико, то при охлажденіи вновь возрастаетъ до прежней степени. Въ случаѣ значительнаго нагрѣванія магнетизмъ утрачивается окончательно естественныя магниты теряютъ магнитность при раскаленіи, стальные уже около 350°). Способность мягкаго желѣза временно намагничиваться чрезъ вліяніе, напротивъ того, усиливается при возвышеніи температуры до краснаго каленія; затѣмъ уменьшается и при бѣлокаленіи утрачивается совсѣмъ.

§ 319. Магнитныя кривыя или линіи магнитной силы. Если помѣстить полюсы вертикально поставленнаго подковообразнаго магнита, или цѣлый магнитъ, если онъ имѣетъ форму полюсовъ, непосредственно подъ горизонтальную стеклянную доску или рамку съ наклеенною бумагой, и осторожно насыпать (лучше всего сквозъ сито) на поверхность стекла или бумаги мелкія желѣзныя опилки, слегка притомъ ударяя по поверхности, то опилки расположатся правильною фигурой, образуя такъ-называемыя *магнитныя кривыя*. Концы полюсовъ или подковообразнаго магнита обозначатся боредкой приставшихъ по краямъ опилокъ, распространяющагося вѣтвями изображенными на фиг. 443. Явленіе



Фиг. 443.

объясняется магнитнымъ вліяніемъ. Каждая опилка есть какъ бы малая стрѣлка, въ которой возбуждается магнитная полярность и которая въ каждомъ пунктѣ вокругъ магнита располагается по тому направленію какое приняла бы (еслибы дѣйствіемъ земли можно было пренебречь) дѣйствительная магнитная стрѣлка въ этомъ пунктѣ помѣщенная. Соединяясь разнородными

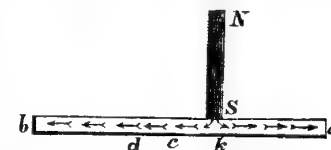
силами признавать не хотятъ. Но я не такъ думаю и охотно признаю что видимыя въ натурѣ притяженія и отталкиванія зависятъ отъ какой-нибудь внешней причины, и какая бы она была, въ томъ лучше признаться хочу что мнѣ неизвѣстна, нежели неосновательныя положенія выдумывать.“

полюсами, опилки образуют магнитные кривые. Если бы по направлению какой-нибудь из этих кривых мы стали перемещать магнитную стрелку, то она в каждом пункте была бы касательною к кривой. Оправдать такое представление можно, помня, что на самом деле магнитную стрелку в разных пунктах магнитного поля пространства куда простирается действие магнита. Но при этом не должно упускать из виду, что магнитная стрелка действием земли удерживается в определенном направлении. Потому, чтобы определять направляющее действие магнита на стрелку независимо от действия земли, надо или взять магнит такой силы, чтобы действием земли можно было пренебречь, или, вместо того чтобы перемещать стрелку, ставить самый магнит в разных местах около стрелки, помня, что под таким наклоном к линии соединяющей его центр с центром стрелки, чтобы стрелка осталась в том же положении как если бы магнита не было (направление действия магнита будет в таком случае совпадать с направлением действия земли). Знаменитый английский физик нынешнего столетия Фарадей (умер в 1867 году) дает магнитным кривым важное теоретическое значение, допуская, что их направлением указывается направление *линий магнитной силы*, к каким этот ученый сводит теорию магнитных явлений, принимая, что железо и вообще тела притягиваемые магнитом стремятся в те места магнитного поля, где линии силы теснее сходятся.

§ 320. Приемы намагничивания. Простое помещение стальной полосы или иглы в соседстве магнита сообщает им больше или меньше значительную магнитную полярность. При этом конец полосы ближайший к северному полюсу магнита приобретает южную полярность, и наоборот. Если полоса приближенная к данному полюсу длинна, то в ней образуются так называемые *последовательные точки*: т. е. противоположный полюс в конце ближайшем к данному полюсу магнита, замкнут полюс одноименный, да еще опять полюс разноименный сопровождаемый новым одноименным. Намагничивающее действие значительно если полюсу поместим *между* разноименными магнитными полюсами (положив, например, один магнит с одного конца полосы на продолжении ее длины, а другой, противоположный полюсом, с другого конца).

Намагничивание, понятно, усиливается если намагниченный кусок приводится в прикосновение с намагничивающим полюсом. Оно может быть еще значительно усилено если станем намагничиваемый кусок *натирать* намагничивающим полюсом, приводя последовательно в прикосновение с ним разные части намагничиваемой полосы, причем имеет значение самое сотрясение, сопровождающее трение. Пусть *ab* есть (фиг. 444) стальная полоса. *NS* натирающий магнит.

Проводя магнитом много раз слева направо к концу *a* (движение начинается с середины), возбудим в этом конце полюс противоположный натирающему полюсу магнита, — северный, если натирающий полюс *S* есть южный. В то же время конец *b* приобретет южную полярность. Для того чтобы концы *a* и *b* получили одинаковую силу и распределение магнетизма в полосе было симметрично относительно ее середины, должно подвергнуть половину *b* в свою очередь натирацию, но справа влево и другим полюсом магнита. По мере натирания намагничивание усиливается, но лишь до известного предела, далее которого продолжение натирания не увеличивает заметным образом намагничивания. Понятно, что вместо того чтобы магнит двигать по полосе, можно полосу двигать по магниту.

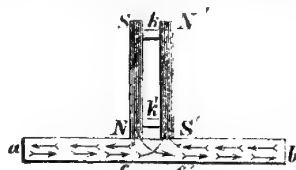


Фиг. 444.

Чтобы не повторять операций последовательно то с одной то с другой половиной полосы, можно взять два магнита и, приложив их противоположными полюсами в середину полосы, разводить к концам, повторяя операцию много раз. Это так называемое *двойное натираение*, которое есть то же простое натираение, только производимое одновременно на двух половинах полосы. Двойное натираение употреблялось около половины прошлого столетия Кнайт (Knight), державший свой способ в секрете. Английские ученые Кантон* и Мичелл (Michell) и французский Дюгамель (около 1750, но каждый независимо от другого) усовершенствовали этот способ, введя новые приемы. Двум первым принадлежит метода натираения парой нераздельно соединенных магнитов (метода *двойного прикосновения*).

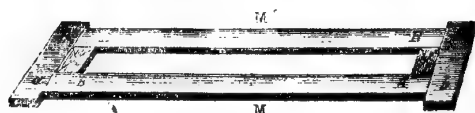
* Кантон (Canton) родился в Глостершире 1718 года, сын суконщика, приобрел в школе элементарные познания в математике и обучался сам, утаивая от отца чтобы читать по ночам, так как отец не одобрял его занятий книгами и переменил мнение лишь когда сын сдвинул солнечные часы, дивившие соседей. В 1737 году переехал в Лондон и поступил ассистентом к одному из столичных преподавателей физических наук. В 1750 году обратил на себя всеобщее внимание мемуаром о намагничивании, доставившем ему звание члена Королевского Общества и золотую медаль. Первый в Англии повторял опыты Франклина над электричеством облаков. Опыты над сжатием воды доставили ему вторую золотую медаль от Королевского Общества. Умер в 1772. Замечательны искусством производить открытия и исследования с самыми простыми средствами. В опытах с намагничиванием источником магнитной силы для него были камни.

прикосновения по наименованію Мичеля). Полосу натирають такою двойною системою, защемиив (фиг. 445) между магнитами



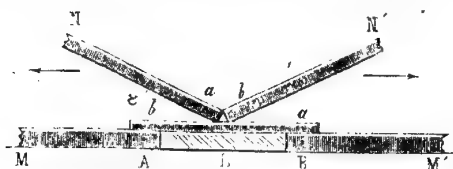
Фиг. 445.

кусочекъ дерева (Мичель) или толстую иглу (Кантонъ) и начиная движение со середины и продолжая его отъ конца къ концу взадь и впередъ и окончивъ опять у середины. Для усиленія дѣйствія, въ концахъ намагничиваемой полосы начина прилагать, по ея длинѣ, магниты (фиг. 447), прикасающіеся къ концамъ ея полюсами противоположнымъ съ тѣми какіе въ этихъ концахъ возбуждаются натираніемъ (Мичель). Кантонъ



Фиг. 446.

бралъ двѣ намагниченныя полосы, помѣщая ихъ параллельно между собою и прилагалъ къ концамъ попеременно по полосѣ мягкаго желѣза, такъ что всѣ четыре куска составляли (фиг. 447)

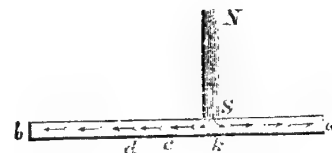


Фиг. 447.

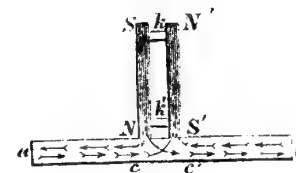
четыреугольникъ. То же. расположеніе употреблялъ Дюамель производя двойное натираніе раздѣленными магнитами, которые онъ ставилъ не перпендикулярно, но наклонно (фиг. 447), чрезъ что, какъ показали опыты, дѣйствіе усиливается. Эпинусъ соединялъ концы, вмѣсто полосъ мягкаго желѣза, магнитами, натираніе же производилъ по методѣ Мичеля, причѣмъ магниты ставилъ не вертикально, а наклонно одинъ къ другому.

Самый процессъ намагниченія въ указанныхъ случаяхъ можно представить себѣ слѣдующимъ образомъ. Начнемъ съ прощипцы намагниченныя магнитнымъ дѣйствіемъ земли; намагничивая ими постепенно рядъ полосъ и систематически пользуясь этими полосами для послѣдующихъ намагничиваній, получалъ сильныя магниты.

стата натирания. Вслѣдствіе дѣйствія (фиг. 448) полюса S обнаруживаются полярность въ магнитныхъ элементахъ стальной полосы, причѣмъ каждый элементъ въ своемъ концѣ направленномъ къ полюсу S приобретаетъ противоположный съ нимъ полюсъ. По мѣрѣ того какъ магнитъ передвигается вправо каждый элементъ, поверхъ котораго онъ проходитъ, намагничивается, получая противоположный S полюсъ въ правомъ концѣ. Такой полюсъ и остается при концѣ a, когда магнитъ сойдеть съ полосы. То обстоятельство что элементы намагничиваются, по мѣрѣ перемѣщенія магнита, дѣйствуетъ въ ущербъ



Фиг. 448.



Фиг. 449.

намагничиванію, которое было бы сильнѣе, еслибы это ослабляющее вліяніе было устранено или уменьшено. Это вліяніе слабѣе въ случаѣ метода двойнаго прикосновения. Элементы лежащіе въ промежуткѣ между полюсами натирающей пары магнитовъ (фиг. 449), вслѣдствіе согласнаго вліянія этихъ полюсовъ, намагничиваются сильно, тогда какъ элементы лежащіе внѣ этого промежутка, подчиняясь разности дѣйствія полюсовъ, намагничиваются слабо, слабѣе чѣмъ еслибы въ прикосновеніи со сталью былъ одинъ полюсъ, какъ въ предыдущемъ случаѣ.

§ 321. Дѣйствіе земли на горизонтально обращающійся магнитъ. Магнитная стрѣлка или полоса, помѣщенная такъ что можетъ свободно обращаться въ горизонтальной плоскости становится, какъ выше сказано, приблизительно въ сѣверо-южномъ направленіи. Вертикальная плоскость проведенная чрезъ направленіе стрѣлки называется магнитнымъ меридіаномъ. Еслибы стрѣлка въ данномъ мѣстѣ точнымъ образомъ направлялась отъ сѣвера къ югу, то магнитный меридіанъ совпадалъ бы съ географическимъ, и стрѣлка прямо показала бы направленіе полуденной линіи (т.-е. пересѣченія плоскости горизонта съ плоскостью меридіана). Но обыкновенно магнитный меридіанъ съ

географическимъ (или что то же—направленіе стрѣлки съ полуденною линіей) образуетъ уголъ, именуемый *склоненіемъ* стрѣлки (*declinaison, Abweichung, declination*). Склоненіе въ различныхъ мѣстахъ различно и въ данномъ мѣстѣ измѣняется съ теченіемъ времени.

Нынѣшняя линія безъ склоненія (т.-е. соединяющая мѣста идѣ склоненіе равно нулю) проходитъ въ сѣверо-южномъ направленіи чрезъ европейскую Россію. Въ мѣстахъ къ востоку отъ этой линіи склоненіе восточное; въ лежащихъ къ западу отъ нея—западное (въ Москвѣ склоненіе около 3° ; въ Парижѣ около 20° , въ Берлинѣ около 16° къ западу). Другая линія безъ склоненія проходитъ чрезъ Америку. Чтобы дать понятіе объ измѣненіи склоненія съ теченіемъ времени, укажемъ, напримѣръ, что въ Парижѣ въ 1618 году склоненіе было 8° къ востоку, въ 1663 равнялось нулю, въ 1770 было 8° къ западу, въ 1814 достигло $22\frac{1}{2}^\circ$ къ западу, къ шестидесятымъ годамъ уменьшилось до 20° .

Кромѣ постепенныхъ отступленій отъ года къ году (вѣковыя отступленія) магнитная стрѣлка постоянно испытываетъ небольшія качанія, слабо измѣняя свое среднее положеніе то къ западу, то къ востоку, обнаруживая притомъ суточный періодъ. Чтобы съ точностію наблюдать малѣйшія отклоненія магнита употребляется метода указанная берлинскимъ профессоромъ Поггендорфомъ и во второй четверти нынѣшняго столѣтія приложенная знаменитымъ геттингенскимъ математикомъ Гауссомъ къ наблюденію магнитныхъ явленій. Магнитная полоса снабжается зеркаломъ, укрѣпленнымъ перпендикулярно къ ея оси (фиг. 448). Наблюдатель съ нѣкотораго разстоянія смотритъ чрезъ трубу въ это зеркало и устанавливаетъ окуляръ такъ чтобы ясно видѣть въ зеркалѣ отраженіе раздѣленной на миллиметры скалы, присоединенной съ трубѣ (окуляръ должно нѣсколько вдвинуть сравнительно съ тѣмъ положеніемъ когда въ трубу видно самое зеркало, ибо изображеніе скалы представляется за зеркаломъ, т.-е. дальше чѣмъ гдѣ находится зеркало). Если труба перпендикулярна къ зеркалу, то въ срединѣ ея поля зрѣнія (гдѣ помѣщены перекрестныя нити) будетъ видно дѣленіе скалы близкое къ ея срединѣ гдѣ стоитъ нуль цифръ на ней означенныхъ (верхъ ногами, чтобы чрезъ трубу казались прямо). При малѣйшемъ отклоненіи магнита и съ нимъ зеркала, къ срединѣ поля зрѣнія придетъ другое дѣленіе скалы, именно соотвѣтствующее лучу *bK* свѣта идущему отъ какой-нибудь точки *b* скалы и отраженному отъ зеркала по направленію *Kc*.



Фиг. 450.

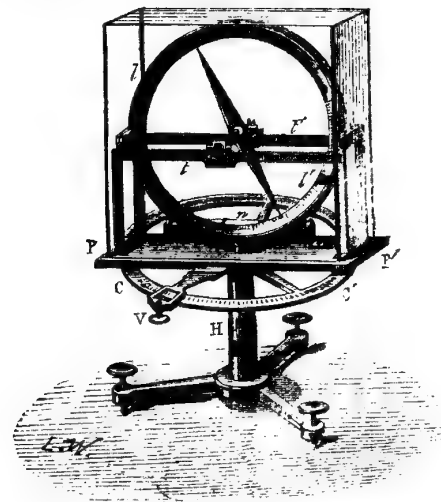
§ 322. Открытіе наклоенія магнитной стрѣлки. Истинное направленіе силы земнаго магнетизма. Гартманъ изъ Нюрнберга, о которомъ упоминалось выше, замѣтилъ слѣдующій фактъ. „Я беру, говоритъ онъ, (1544), стрѣлку съ палецъ длиною и тщательно устанавливаю ее (пока она еще не намагничена) горизонтально на остріѣ, такъ что ни тотъ ни другой конецъ не наклоняются къ землѣ и стоятъ на одномъ уровнѣ. Но какъ скоро я натру тотъ или другой конецъ (стрѣлка слѣд. намагнитится), то она не останется болѣе горизонтальною, но наклоняется на нѣсколько градусовъ. Причину, почему такъ случается, указать не умѣю.“ Конецъ который нѣсколько опускается книзу, какъ бы сдѣлавшись тяжелѣе, въ нашемъ полушаріи есть тотъ который смотритъ на сѣверъ. Тотъ же фактъ независимо замѣтилъ и внимательно изучилъ Англичанинъ Робертъ Норманъ (котораго Гильбертъ зоветъ *nauta peritus et ingeniosus artifex*), въ семидесятыхъ годахъ XVI столѣтія. Приготовляя весьма подвижныя стрѣлки компаса, онъ постоянно замѣчалъ что стрѣлка до намагниченія стоявшая горизонтально, послѣ намагниченія опускалась сѣвернымъ концомъ нѣсколько книзу; онъ приклеивалъ въ началѣ нѣсколько воску къ южному концу, чтобы возстановить равновѣсіе; затѣмъ сталъ срѣзывать небольшую часть съ сѣвернаго конца и, разъ случайно срѣзавъ слишкомъ много, приступилъ къ внимательному изученію явленія и изобрѣлъ такъ-называемый *компасъ наклоненія*, въ которомъ стрѣлка свободно движется не въ горизонтальной, но въ вертикальной плоскости. Фиг. 451 даетъ понятіа о приѣмѣ Нормана для изученія наклоняющаго дѣйствія земли на



Фиг. 451.

магнитъ. Стрѣлка въ пять, шесть дюймовъ длиною снабжается горизонтальною осью, проходящею чрезъ ея центръ тяжести и вставляется въ вилкообразную оправу, такъ что можетъ свободно двигаться въ вертикальной плоскости, образуемой прорѣзомъ оправы. Оправа, въ свою очередь, вѣшается на нити. Стрѣлка можетъ, слѣдовательно, разсматриваться какъ свободно обращающаяся въ пространствѣ. Еслибъ ось стрѣлки проходила точно чрезъ ея центръ тяжести и нить не имѣла замѣтнаго крученія, то стрѣлка, пока не намагничена, должна оставаться въ равновѣсїи во всякомъ произвольно данномъ ей направленіи. Но какъ скоро она намагничена, то принимаетъ совершенно опредѣленное положеніе и, будучи изъ него выведена, послѣ нѣсколькихъ качаній, вновь въ него возвращается. Не трудно усмотрѣть что въ этомъ положеніи оправа помѣщается такъ что прорѣзъ ея, которымъ опредѣляется плоскость движенія стрѣлки, приходится въ магнитномъ меридіанѣ, стрѣлка же наклоняется сѣвернымъ концомъ книзу, дѣлая съ горизонтомъ уголъ, опредѣленной величины. Въ такомъ положеніи стрѣлка своимъ направленіемъ показываетъ истинное направленіе магнитнаго дѣйствія земли. Еслибы мы повернули оправу такъ чтобъ ея прорѣзъ пришелся не въ плоскости меридіана, а въ другой какой-либо вертикальной плоскости, то сѣверный конецъ еще болѣе наклонился бы вниз; наконецъ стрѣлка стала бы вертикально, когда плоскость ея движеній была бы перпендикулярна къ магнитному меридіану. Такимъ образомъ уголъ наклоенія соответствующій меридіану есть наименьшій, онъ и именуется *наклоеніемъ* данного мѣста. Чтобъ удобно было помѣщать прорѣзъ оправы въ той или другой вертикальной плоскости, оправу несущую стрѣлку не вѣшаютъ на нити, а поддерживаютъ снизу, такъ что она можетъ быть поворачиваема въ то или дру-

гое положеніе. Такой снарядъ есть *компасъ наклоненія* (фиг. 452). Стрѣлка покоющаяся на горизонтальной оси свободно ходитъ по раздѣленному на градусы вертикальному кругу, который помощію ручки *A* можетъ быть установленъ въ той или другой вертикальной плоскости, положеніе которой опредѣляется помощію горизонтальнаго круга.



Фиг. 452.

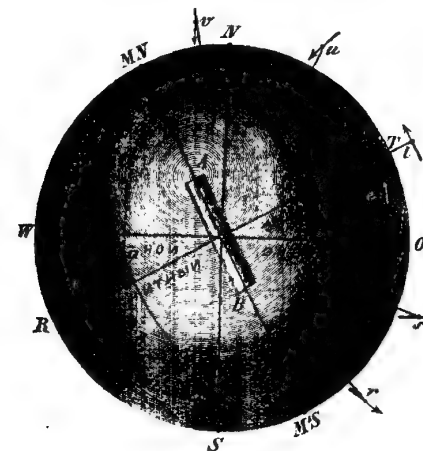
Главная трудность опытовъ происходитъ отъ того что стрѣлка въ строгомъ смыслѣ не можетъ считаться подпертою въ центръ тяжести, и къ дѣйствию земнаго магнетизма присоединяется дѣйствіе тяжести. Чтобы по возможности исключить вліяніе тяжести, стрѣлку, послѣ того какъ сдѣлано одно опредѣленіе, перемагничиваютъ, такъ что прежній сѣверный конецъ становится южнымъ и наоборотъ, и повторяютъ опытъ.

Чтобы найти истинное направленіе дѣйствія земли на магнитъ, Гильбертъ употреблялъ еще иной приѣмъ, кромѣ компаса Нормана. Онъ протыкалъ небольшую стрѣлку сквозъ пробку и сравнивалъ величину пробки такъ что вся система, будучи погружена въ сосудъ съ водою, оставалась взвѣшанною внутри воды (вытѣсненіе количества воды равнаго вѣсу съ вѣсомъ совокупности пробки и стрѣлки). Стрѣлка, если была намагничена, располагалась параллельно стрѣлкѣ наклоненія.

Наклонение магнитной стрѣлки различно на различныхъ мѣстахъ земной поверхности и вообще увеличивается отъ экватора къ полюсамъ. Въ Москвѣ наклонение составляетъ около 69° , въ Берлинѣ $67\frac{1}{2}^\circ$, въ Палермо 57° , въ Бомбей около 18° , въ Мадрасѣ около 7° , на Шпицбергенѣ около 81° . Тѣ точки гдѣ наклонение равняется 90° , т.-е. стрѣлка наклоненія, обращающаяся въ плоскости магнитнаго меридіана, направляется вертикально (это положеніе она сохраняетъ и во всѣхъ другихъ вертикальныхъ плоскостяхъ) называются магнитными полюсами земли. Ихъ двѣ — одна въ сѣверныхъ полярныхъ странахъ, а именно въ Америкѣ, другая въ южныхъ. Точки земной поверхности гдѣ наклоненіе равно 0° , и стрѣлка въ плоскости магнитнаго меридіана направляется горизонтально, образуютъ *магнитный экваторъ* земли. Къ сѣверу отъ этого экватора наклоняющійся внизъ полюсъ есть сѣверный къ югу — южный.

§ 323. *Общее понятіе о магнитномъ дѣйствіи земнаго шара.* Изученіе положеній магнитной стрѣлки на различныхъ мѣстахъ земной поверхности привело къ заключенію что землю можно уподобить обращающемуся около нѣкоторой оси шару, внутри котораго (фиг. 453), вблизи его центра, находится сильный магнитъ, причемъ ось магнита не совпадаетъ съ осью вращенія шара. Этимъ объясняется почему географическіе полюсы не совпадаютъ съ *полюсами магнитными*, то-есть точками гдѣ магнитная ось пересѣкается съ землею поверхностію и гдѣ свободно во всѣхъ направленіяхъ обращающаяся магнитная стрѣлка принимаетъ вертикальное направленіе, на одномъ сѣвернымъ концемъ внизъ, на другомъ южнымъ. Такъ какъ магниты взаимно притягиваются разноименными полюсами, то уподобляя дѣйствіе земли дѣйствію воображаемаго центральнаго магнита, мы должны допустить что сѣверный конецъ этого магнита имѣетъ такую полярность какую стрѣлка имѣетъ въ своемъ

концѣ смотрящемъ на югъ. Другими словами: сѣверная половина земнаго магнита имѣетъ южный магнетизмъ и наоборотъ. Пересѣченіе шара плоскостію проходящею чрезъ центръ и перпендикулярною



Фиг. 453.

къ оси магнита отмѣчаетъ на поверхности шара большой кругъ, на протяженіи котораго стрѣлка имѣетъ горизонтальное направленіе, и наклоненіе равно нулю. Это кругъ соответствующій магнитному экватору. Плоскости перпендикулярныя къ оси магнита, но не проходящія чрезъ центръ шара отмѣчаютъ магнитныя параллели. На протяженіи каждой параллели стрѣлка должна имѣть одинакое наклоненіе, тѣмъ большее чѣмъ ближе параллель къ полюсу. Опускающіеся внизъ полюсы должны быть различны въ двухъ полушаріяхъ, раздѣляемыхъ магнитнымъ экваторомъ. Уподобленіе земли шару съ центральнымъ магнитомъ оправдывается, впрочемъ, лишь въ самыхъ общихъ чертахъ. На дѣлѣ распредѣленіе магнетизма на земной поверхности далеко не такъ просто какъ указывается этою простою схемой. Магнитный экваторъ не есть большой кругъ, а предста-

вляеть значительные изгибы; линіи равнаго наклоненія или магнитныя параллели также не круги, а болѣе или менѣе неправильныя кривыя.

Прибавимъ что направленіе стрѣлокъ наклоненія на различныхъ мѣстахъ земной поверхности указываетъ направленіе линій магнитной силы земнаго магнита.

§ 324. Намагничивающее дѣйствіе земли. Земля, дѣйствуя какъ магнитъ, не только даетъ определенное направленіе свободно обращающимся магнитнымъ стрѣлкамъ или полосамъ, но и можетъ оказывать магнитное вліяніе, производящее намагничиваніе желѣзныхъ и стальныхъ предметовъ, на ней находящихся. Направленіе стрѣлки наклоненія есть вмѣстѣ и направленіе намагничивающаго дѣйствія. И такъ какъ въ нашихъ широтахъ наклоненіе довольно значительно, то желѣзные предметы вообще въ нижнихъ своихъ частяхъ приобретаютъ сѣверную, въ верхнихъ южную полярность. Въ случаѣ мягкаго желѣза эта полярность есть временная, которую можно называть полярностью положенія; въ случаѣ стали и не мягкаго желѣза намагниченіе можетъ сдѣлаться постояннымъ, такъ что предметъ можетъ сдѣлаться постояннымъ магнитомъ.

Относительно мягкаго желѣза еще Гримальди* (въ срединѣ XVI вѣка, указавъ любопытный опытъ. Если поставитъ въ вертикальномъ или нѣсколько наклонномъ положеніи полосу *мягкаго* желѣза, то она обнаруживаетъ магнитную полярность: въ нижнемъ ея концѣ появляется сѣверный полюсъ, притягивающій южный конецъ поднесенной магнитной стрѣлки, въ верхнемъ—южный. Если перевернуть полосу, такъ что конецъ прежде бывшій наверху перевернется внизъ, то сѣверный полюсъ все-таки обнаружится внизу и слѣдовательно въ той части полосы которая въ первомъ опытѣ обнаруживала южную полярность, и такая перевертнута полярности обнаруживается тотчасъ какъ полоса перевернута; опытъ можно повторить неопредѣленное число разъ. Дюфе (Du Fay) **) 1728 г.) далъ этому опыту слѣдующую

*) Ученый іезуитъ, извѣстный математикъ своего времени. Родился 1617, умеръ 1663.

**) Дюфе французскій оеицеръ, оставившій военную службу чтобы предаться наукѣ. Былъ дѣятельнымъ членомъ Парижской Академіи Наукъ и директоромъ Ботаническаго Сада. Умеръ въ 1739 году, 43 лѣтъ, отъ оспы.

удобную форму. «Если къ свободно покоящейся на остріѣ магнитной стрѣлкѣ поднести желѣзную полосу, про которую извѣстно что она нисколько не намагничена. (Дюфе бралъ желѣзную полосу фута въ два длиною, въ палецъ толщиною), держа ее горизонтально и подъ прямымъ угломъ къ направленію стрѣлки, то не замѣтимъ никакой перемѣны: желѣзо не окажется никакихъ магнитныхъ свойствъ, магнитная стрѣлка останется въ покоѣ хотя бы желѣзо было поднесено весьма близко *). Но если опустить внизъ отдаленный отъ стрѣлки конецъ, такъ чтобы онъ описалъ четверть круга около ближайшаго къ стрѣлкѣ конца, какъ около центра, то этотъ ближайшій конецъ, приходясь теперь въ верху, тотчасъ притянетъ смотрящій на сѣверъ конецъ стрѣлки, и она отклонится изъ положенія равновѣсія». Если же поднимемъ отдаленный конецъ вверхъ, то въ ближайшемъ къ стрѣлкѣ концѣ полосы полюсъ перевернется и конецъ этотъ будетъ притягивать на югъ смотрящій полюсъ стрѣлки.

Постоянное намагниченіе желѣзныхъ (не изъ мягкаго желѣза) и стальныхъ предметовъ чрезъ магнитное вліяніе земли обратило на себя вниманіе ученыхъ въ особенности послѣ наблюденія сдѣланнаго (въ двадцатыхъ годахъ прошлаго столѣтія) въ Шартрѣ**) и сообщеннаго Парижской Академіи Наукъ. Замѣчено было, при передѣлкѣ креста на соборной колокольнѣ, что желѣзный вертикальный стержень креста оказываетъ магнитную полярность, притягиваетъ желѣзные опилки. Этотъ случай не есть что-либо исключительное. «При всякомъ каминѣ, говоритъ (1723) Реомюръ, можно что-нибудь найти чтобы обнаружить намагничиваніе дѣйствіемъ земли... Каминные щипцы особенно къ тому удобны, если только остерегаться чтобы не обращать ихъ верхней частью книзу (но вѣшать ихъ всегда одинаковымъ образомъ)». Г. Рохо (Rohault) взялъ длинный и тонкій кусокъ стали, раскалилъ ее и закалилъ держа вертикально. На концахъ

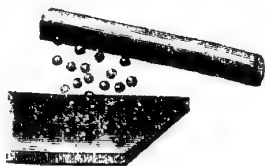
*) Еслибы стрѣлка отклонилась, то это было бы свидѣтельствомъ что полоса имѣетъ нѣкоторую постоянную магнитность, какую не должно имѣть мягкое желѣзо годное при опытѣ съ временнымъ намагничиваніемъ чрезъ вліяніе. Полоса мягкаго желѣза въ указанномъ положеніи не дѣйствуетъ на стрѣлку потому что магнитное чрезъ вліяніе земли даетъ ей полярность не въ продольномъ направленіи, а въ короткомъ поперечномъ, вслѣдствіе чего дѣйствіе верхней стороны, имѣющей южную полярность, уничтожается дѣйствіемъ очень близко находящейся нижней, имѣющей полярность сѣверную.

**) Явленіе впрочемъ наблюдалось и значительно прежде, Но Гильберту въ первый разъ въ XVI вѣкѣ на колокольнѣ въ Мантуѣ.

обнаружилось по магнитному полюсу... Въ мастерских слѣсарей, ножевицковъ, кузнецовъ только и встрѣчаемъ что намагниченныя орудія; почти всѣ орудія, какими пользуются рабочіе чтобы разсѣкать или прободать желѣзо, при обработкѣ холоднымъ путемъ, притягиваютъ желѣзныя опилки; нѣкоторые даже въ состояніи полнять небольшія иглы. Реомюръ указываетъ далѣе что сотрясеніе, испытываемое орудіемъ, когда имъ обрабатываютъ желѣзо, есть существенное условіе для того чтобы обнаружилось намагничивающее дѣйствіе земли. Точно-что закаленные, не бывшія въ употребленіи орудія не оказываютъ магнитности. Но если взять долото или косарь и, положивъ остріемъ на желѣзо, ударить молоткомъ, то орудія эти пріобрѣтаютъ магнитность. Перегибаніе и крученіе стали также сопровождается намагниченіемъ.

II. Ученіе объ электричествѣ, возбуждаемомъ треніемъ.

§ 325. Признаки электрическаго состоянія тѣла: притяженіе легкихъ тѣлъ и свѣтъ въ формѣ сіянія или искры. Съ древности извѣстно что кусокъ янтаря натертый, напримѣръ, рукою пріобрѣтаетъ свойство притягивать отломки соломы и нныя легкія тѣла. Но до изслѣдованій Гильберта этимъ и ограничивались фактическія свѣдѣнія объ электрическихъ явленіяхъ *), хотя и много



Фиг. 454.



Фиг. 455.

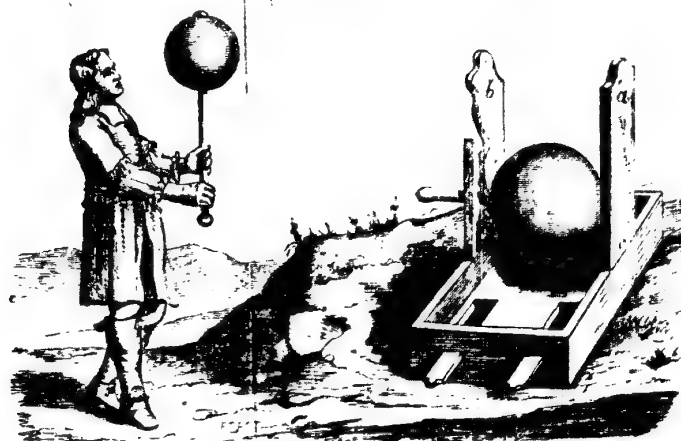
было писано объ удивительномъ свойствѣ притяженія оказываемомъ магнитомъ и натертымъ янтaremъ.

*) Терминъ электричество введенъ Гильбертомъ и произведенъ имъ отъ греческаго наименованія янтаря.

Гильбертъ указалъ что въ электрическое состояніе, чрезъ треніе, можно привести не только янтарь, но и многія другія тѣла: драгоценныя камни, стекло, сѣру, смолы и т. д.

Гильбертъ бралъ маленькую металлическую стрѣлку (изъ мѣди или иного металла), помѣщалъ ее на остріѣ, подобно тому какъ ставится магнитная стрѣлка, и подносилъ натертый кусокъ къ ея концу, который и отклонялся вслѣдствіе электрическаго притяженія. Снарядъ былъ весьма чувствителенъ, благодаря удобоподвижности стрѣлки.

Электрическое притяженіе (фиг. 454) удобно можно обнаружить, въ весьма рѣзкой формѣ, помощью стеклянной трубки, натираемой прямо рукою или фланелью, или шелковымъ платкомъ, а всего лучше кожей (фиг. 455) покрытою амальгамою (изъ ртути, олова и цинка). Нѣсколько менѣе рѣзко опытъ обнаруживается помощью палочки сургуча, натираемаго шерстяною матеріей. Соломенныя, кусочки бумаги, пробки, бузиновой серпентины посособенно золотыя листочки (какъ извѣстно, чрезвычайно тонкіе) суть легкія тѣла удобныя для опытовъ. Не трудно замѣтить что нѣкоторые кусочки.



Фиг. 456.

будучи притянуты, тотчасъ съ силой отбрасываются назадъ.

Изобрѣтатель воздушнаго насоса, Отто фонъ-Герике, чтобы дѣлать опыты въ значительныхъ размѣрахъ и съ удобствомъ производить натирание, устроилъ (фиг. 456) изъ свѣрнаго шара родъ первой *электрической машины*.

Онъ описываетъ ее слѣдующимъ образомъ: „Если кому угодно (повторить мои опыты), тотъ пусть возьметъ стеклянный баллонъ (sphæram vitri)... величиною съ дѣтскую голову; наполнить его растолченою сѣрой и расплавить ее; по охлажденіи разобьетъ баллонъ, вынетъ шаръ и сохранитъ его въ сухомъ мѣстѣ. Если угодно, можно въ шаръ провертѣть отверстіе, чтобы удобно было вращать его на вставленномъ желѣзномъ стержнѣ какъ на оси.“ Съ своею машиной Герике наблюдалъ не только притяженія и отталкиванія легкихъ тѣлъ, но и свѣтъ. „Если въ темной комнатѣ, говоритъ онъ, тереть шаръ сухою ладонью“, то замѣтенъ свѣтъ, подобный издаваемому „сахаромъ когда его колятъ“.

Англійскій ученый, докторъ Уалль (Wall, 1708) электризовалъ кусочки янтаря, въ формѣ длинной круглой остро оканчивающейся палочки, помощію шерстянаго платка, и поднося палецъ, получилъ электрическую искру, вылетавшую съ трескомъ „какъ отъ угля въ жаровнѣ“. Явленіе, замѣчаетъ Уалль, представляеть въ маломъ видѣ „своимъ свѣтомъ и трескомъ какъ бы подобіе молніи и грома“.

Стеклянные трубки натираемыя рукой, бумагой, фланелью и т. под. долгое время были главнымъ аппаратомъ при электрическихъ опытахъ. Производи пустоту, помощію воздушнаго насоса, внутри трубки или какого-нибудь стекляннаго сосуда *) и электризуя ихъ натираниемъ, можно было наблюдать мерцающее электрическое сіяніе въ пустотѣ.

*) Опыты англійскаго физика начала прошлаго столѣтія Гауксби (Hawksbee) и другихъ.

§ 326. Сообщение электрическаго состоянія тѣламъ, въ обыкновенныхъ условіяхъ чрезъ треніе не электризующимся. Первое понятіе о проводникахъ и непроводникахъ электричества. Принимая въ соображеніе что натертая стеклянная трубка въ темнотѣ даетъ искру при приближеніи къ ней какого-нибудь тѣла и слѣдовательно какъ бы „сообщаетъ ему свой свѣтъ“, Англійскій физикъ Грей (Gray) *) напалъ на мысль не можетъ ли такая трубка сообщить и электрическихъ свойствъ тѣламъ которыя обыкновеннымъ натираниемъ не электризуются. Онъ (въ 1729) взялъ стеклянную трубку фута въ три длиною, болѣе дюйма въ діаметрѣ; закрылъ ее отъ пыли пробкой и натирая замѣтилъ что не только само стекло, но и пробка обнаружила свойство притягивать легкія тѣла. Онъ вставилъ въ пробку деревянную палочку съ шарикомъ изъ слоновой кости на концѣ. При натирании трубки, электрическія свойства передались шарiku, и онъ притягивалъ легкія тѣла. Вставивъ вмѣсто палочки желѣзную проволоку въ нѣсколько футовъ, замѣнивъ потомъ проволоку веревкой съ шарикомъ на концѣ, — во всѣхъ случаяхъ замѣтилъ передачу электрическаго дѣйствія. Въ случаѣ значительной длины тѣла передававаго дѣйствіе, нѣкоторые опыты производились съ балкона, съ цѣлію предохранить такой проводникъ отъ прикосновенія съ окружающими предметами, которыми онъ могъ бы передать электричество.

Шарикъ слоновой кости съ успѣхомъ замѣнялся самыми разнообразными тѣлами: деревомъ, свинцомъ, пробкой, магнитомъ, мыльнымъ пузыремъ (изъ привѣшанной глиняной трубочки), раскаленнымъ желѣзомъ, пыленкомъ, зонтикомъ и проч. Дѣйствіе на концы вообще было сильнѣе чѣмъ на протяженіи проводника

*) Членъ Лондонскаго Королевскаго Общества. Умеръ въ 1736 году; біографическихъ свѣдѣній о немъ не сохранилось.

передающего дѣйствіе. Желая передать дѣйствіе на возможно дальнее разстояніе, Грей протянулъ веревку, привязанную однимъ концомъ къ трубкѣ, вдоль длинной галлерей и, чтобы поддержать эту веревку, перекинулъ конецъ ея, гдѣ висѣлъ шарикъ, черезъ другую веревку, протянутую поперегъ галлерей. Опытъ не удавался, но когда средина поперечной веревки, гдѣ лежалъ перекинутый конецъ, была сдѣлана изъ *шелковой* нити (въ надеждѣ что такая нить по тонкости не отвлечетъ „проходящей электрической силы“), „успѣхъ“ превзошелъ ожиданія, и обнаружилось явственное притяженіе. Но однажды шелковая нить оборвалась и была замѣнена тонкою металлическою проволокой. Дѣйствіе прекратилось. Грей заключилъ что успѣхъ перваго опыта происходилъ оттого что поддерживающая нить „была изъ *шелка*, а не оттого что она тонка“. Въ случаѣ же когда веревка служившая къ тому чтобы передавать электрическую силу „лежала на металлѣ или другой веревкѣ,—электрическій потокъ уходилъ чрезъ нихъ въ дерево, гдѣ они были укрѣплены.“ Этотъ опытъ Грея далъ первое указаніе къ раздѣленію тѣлъ на *проводники* и *непроводники* (или *изоляторы*) электричества, самими Греемъ, впрочемъ, ясно не высказанному.

Французскій ученый Дюфе (1733), повторяя и пополняя опыты Грея, пробовалъ проводить электричество чрезъ различные тѣла и пришелъ къ общему заключенію что „вещества наиболѣе способны сами (чрезъ треніе) приводиться въ электрическое состояніе наименѣе способны передавать его на значительное разстояніе“. [Выходя отъ этой мысли, Дюфе открылъ твердые изоляторы. Такъ какъ шелкъ въ опытъ Грея оказался не проводящимъ электричество, то, говоритъ онъ, „я сталъ подозрѣвать что это происходитъ отъ большаго расположенія шелка электризоваться и подумалъ что его можно замѣнить

тѣлами болѣе твердыми, имѣющими подобное свойство. Я бралъ обыкновенныя стеклянныя трубки и другія, которыя нагревалъ и покрывалъ снаружи слоемъ сургуча, и съ удовольствіемъ увидѣлъ что опытъ оправдалъ мое предположеніе, ибо тѣ и другія не прерывали электрическаго потока вдоль веревки, и я пользовался ими во многихъ случаяхъ съ болѣе удобнымъ чѣмъ шелкомъ.“

Терминъ *проводникъ* (conductor) введенъ англійскимъ ученымъ Дезагулье (Desaguliers), съ ясностію указавшимъ 1739 раздѣленіе тѣлъ на два разряда по отношенію къ электричеству. Во-первыхъ *непроводники*, *corpora electrica per se*, которые чрезъ треніе, ударъ и т. п. приходятъ въ электрическое состояніе. Во-вторыхъ, *проводники*, *corpora non electrica per se*, въ которыхъ этимъ дѣйствіемъ „не возбуждается электрическая сила, по которымъ наэлектризованное тѣло перваго рода можетъ сообщить свою силу, причемъ сила эта принимается заранѣе всѣми частями проводника, какъ бы длиненъ и великъ онъ ни былъ... Въ непроводникѣ одна часть можетъ быть сильно наэлектризована, тогда какъ другія остаются ненаэлектризованными... Этого не можетъ быть въ проводникѣ. Наэлектризованный проводникъ чрезъ прикосновеніе руки или иного проводника сразу утрачиваетъ электричество; непроводникъ можетъ потерять электричество въ одной части, сохраняя въ другихъ“.

Употребительные металлы, уголь, графитъ, вода, растенія, животныя, пенька, хлопокъ — суть примѣры проводниковъ электричества. Стекля, шелкъ, смолы, сѣра, янтарь, мѣль, сухая бумага, волосы — непроводники. Сухое дерево, мраморъ, бумага, солома — полупроводники. Сухой воздухъ и газы суть также непроводники, ибо еслибы воздухъ былъ проводникъ, то электрическіе опыты были бы невозможны. Сырой воздухъ уже значительно уводитъ электричество. Такъ же дѣйствуетъ разбѣженный воздухъ; но совершенная пустота есть, повидимому, непроводникъ объ этомъ ниже. Земля въ своемъ цѣломъ есть огромный проводникъ. Когда наэлектризованное тѣло приводится въ соощеніе съ землею, то электричество его распределяется на всемъ этомъ громадномъ проводникѣ и становится не замѣтнымъ. Электричество, какъ говорится, уходитъ въ землю.

§ 327. **Изолированный кондукторъ и его употребленіе.** Металлическое тѣло (полоса, цилиндръ) повѣшанное на шелковыхъ нитяхъ или укрѣпленное на стеклянной ножкѣ, вообще поддерживаемое непроводникомъ.

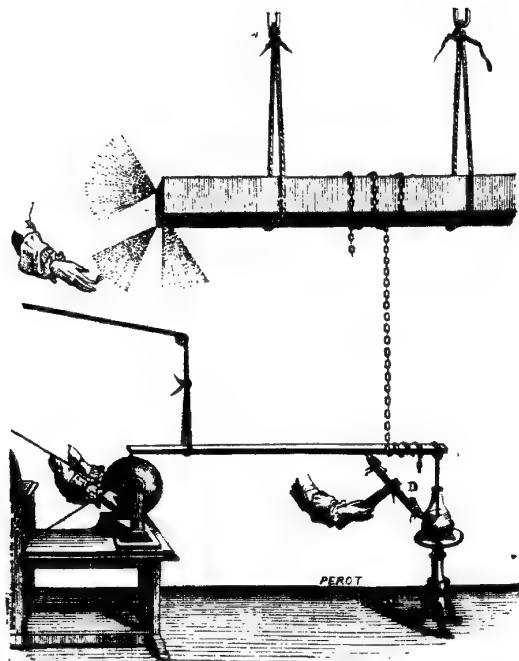
представляет собою *изолированный кондукторъ*, играющий важную роль при электрическихъ опытахъ. Уже Грей пользовался имъ въ формѣ свинцовой массы, повѣшенной на волосяной веревкѣ, и убѣдился что нѣтъ надобности, дабы привести кондукторъ въ наэлектризованное состояніе, касаться до него наэлектризованнымъ тѣломъ, а достаточно это тѣло держать отъ кондуктора на нѣкоторомъ разстояніи. Грей показалъ также что въ качествѣ кондуктора можно употреблять тѣло человека. Онъ вѣшалъ, помощью волосяныхъ веревокъ, въ горизонтальномъ положеніи девятилѣтняго мальчика и электризовалъ его, поднося къ его ногамъ натертую стеклянную трубку. Лицо мальчика сильно притягивало поднесенные металлические листочки.

Дюфе подобный опытъ произвелъ надъ собою. „Я повѣсилъ, говоритъ онъ, на шелковыхъ шнурахъ доску четырехъ футовъ длиною и въ футъ шириною и сѣлъ на нее протянувъ ноги вдоль доски. Тогда къ одной моей рукѣ приблизили трубку; другая, къ которой поднесли золотые листочки оказалась сильно наэлектризованной... Одинъ изъ присутствовавшихъ хотѣлъ снять листокъ приставшій къ моей ногѣ; въ тотъ моментъ какъ приблизилъ руку услышалъ трескъ подобный тому какой производить трубка, когда къ ней приближаютъ пальцы; онъ почувствовалъ также боль, какъ отъ укола въ палецъ, и я то же почувствовалъ въ ногѣ. Все вниманіе мое обратилось къ этому новому явленію; я хотѣлъ повторить опытъ и это оказалось очень легко. Какъ только приближали трубку къ моимъ ногамъ или къ одной изъ рукъ, и кто-нибудь руку или конецъ пальца къ моему лицу, рукамъ, ногамъ или платью, тотчасъ слышался уюмнутый трескъ... Не трудно догадаться что въ темнотѣ каждому треску соответствовала бы искра свѣта. Такъ и оказалось дѣйствительно.“

Изолированный кондукторъ составляетъ существенную часть каждой *электрической машины*. Первые изслѣдователи электрическихъ явленій пользовались, какъ мы видѣли, главнымъ образомъ натираемыми стеклянными трубками. Гауксби (Hawksbee) и, независимо отъ него, германскіе ученые *) стали употреблять стеклянные

*) Гаузенъ и затѣмъ Вилклеръ, также Бозе.

шары и цилиндры на оси, приводимой въ движеніе помощью колеса съ перекинутымъ безконечнымъ ремнемъ. Стекло натиралось обыкновенно прикосновеніемъ руки. (Вилклеръ ввелъ подушки прижимаемыя пружинами.) Фиг. 457 даетъ понятіе объ электрическихъ машинахъ



Фиг. 457.

употреблявшихся въ срединѣ прошлаго столѣтія. Это машина какою пользовался французскій ученый аббатъ Ноллетъ. Стеклянный шаръ натирался рукой Ноллетъ былъ противъ употребленія подушекъ и отличался искусствомъ возбуждать электричество треніемъ своей руки). Металлическая полоса повѣшенная на шелковыхъ шнурахъ близъ натираемаго шара

служила изолированнымъ кондукторомъ. Кондукторъ электризовался вслѣдствіе близости къ шару и давалъ искры при приближеніи пальца или иного тѣла *). Еслибы не было кондуктора, то шаръ, какъ непроводникъ, доставлялъ бы электричество лишь тою своею частью какая находится въ ближайшемъ соседствѣ съ поднесеннымъ тѣломъ, тогда какъ кондукторъ, будучи наэлектризованъ, доставляетъ электричество сразу всѣми своими частями.

Бузинный шарикъ (такіе шарики введены Кантономъ) на льняной (или иной проводящей) нити, повѣшенный на стativъ (фиг. 458 на стр. 518) изъ непроводящаго матеріала или поставленномъ на непроводникъ, также представляетъ собою изолированный кондукторъ, полезный при многихъ опытахъ.

§ 328. Взаимное отталкиваніе одинаково наэлектризованныхъ тѣлъ. Два рода электричества. Дѣлая опыты съ притяженіемъ легкихъ тѣлъ (пуха, листочковъ и т. п.) наэлектризованною стеклянною трубкой, нетрудно замѣтить что нѣкоторыя изъ притянутыхъ частицъ придя въ прикосновеніе съ трубкой, ею энергически отталкиваются. Это обстоятельство было замѣчено еще первыми изслѣдователями электрическихъ явленій. Дюфе (въ 1733) подвергъ его внимательному изученію. Онъ помнилъ опытъ описанный Отто фонъ-Герике, указывавшимъ что можно „помощію наэлектризованнаго сѣрнаго шара заставить легкое перышко перемѣщаться (предъ шаромъ) по комнатѣ, всегда оставаясь отъ шара на нѣкоторомъ разстояніи“. Въ этой формѣ опытъ не удался Дюфе; но съ помощію наэлектризованной трубки ему удалось воспроизвести явленіе и придти къ важнымъ заключеніямъ. „На-тремъ, говоритъ онъ, трубку и, держа ее горизонтально, пустимъ на нее сверху внизъ частицу золотаго

листа... Какъ только она коснется трубки, тотчасъ оттолкнется вверхъ на разстояніе отъ восьми до десяти дюймовъ и останется почти неподвижно въ воздухѣ. Если приблизимъ трубку, поднимая ее, частица также поднимется, оставаясь на томъ же разстояніи, такъ что ихъ нельзя привести въ прикосновеніе: такимъ образомъ можно перенести частицу куда угодно, такъ какъ она всегда будетъ убѣгать отъ трубки. Если продолжить опытъ пять, шесть минутъ, то листокъ постепенно приблизится къ трубкѣ и наконецъ упадетъ на нее; но едва коснется,—удалится съ новою силой, и это будетъ повторяться пока трубка сохранитъ электричество... Если къ листку держащемуся въ воздухѣ приблизить палецъ или иное тѣло нѣкотораго объема, то листокъ тотчасъ къ нему прикоснется и затѣмъ упадетъ на трубку, отъ которой вновь пріобрѣтетъ электричество и оттолкнется на прежнее разстояніе.“ Эти опыты, какъ и вообще обстоятельства сопровождающія притяженіе легкихъ тѣлъ наэлектризованною трубкой, Дюфе объяснилъ, допустивъ что наэлектризованное тѣло притягиваетъ ненаэлектризованное, а два наэлектризованныхъ взаимно отталкиваются. Такимъ образомъ въ случаѣ притяженія трубкою легкихъ тѣлъ, „нѣкоторыя изъ нихъ пристають своими волокнами такъ что не могутъ быть оттолкнуты, хотя пріобрѣтенное электричество и стремится ихъ оттолкнуть; тѣ же съ которыми прилипанія не случилось отталкиваются трубкой, но приблизившись къ столу или соседнимъ тѣламъ (къ пальцу въ вышеописанномъ опытѣ), прикасаются къ нимъ и отдаютъ имъ свое электричество; необходимо притягиваются вторично, ибо уже ненаэлектризованы; отсюда эти повидимому неправильныя движенія притяженія и отталкиванія, которыя кажутся такъ трудно объяснимыми, будучи, впрочемъ, какъ видимъ, слѣдствіемъ весьма простаго принципа.“

*) На фиг. 457 выше перваго кондуктора изображенъ другой, соединенный съ первымъ цѣпью. У перваго кондуктора представлена разряжаемая лейденская банка.

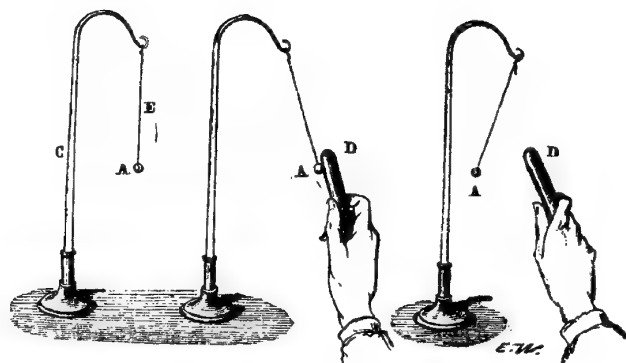
Дальнѣйшіе опыты показали что этого принципа недостаточно для объясненія всѣхъ электрическихъ притяженій и отталкиваній. „Однажды поднявъ въ воздухъ золотой листокъ помощію трубки, я приближилъ къ нему (говорить Дюфе) кусокъ натертаго и слѣдовательно наэлектризованнаго копала (смола). Листокъ тотчасъ притянулся копаломъ и такъ остался. Признаюсь, я ждалъ совсѣмъ противнаго дѣйствія, ибо согласно моему разсужденію, копаль, какъ наэлектризованное тѣло, долженъ бы отталкивать листокъ тоже наэлектризованный. Я повторялъ опытъ много разъ... и убѣдился что копаль *притягиваетъ* листокъ, тогда какъ трубка его *отталкиваетъ*: то же было когда я приближалъ къ листку натертый янтарь или сургучъ. Послѣ многихъ неудовлетворившихъ меня попытокъ, я приблизилъ къ листку оттолкнутому трубкой шарикъ горнаго хрусталя натертый и чрезъ то наэлектризованный: онъ *отталкивалъ* листокъ какъ и трубка. Другая наэлектризованная стеклянная трубка его также отталкивала. Я не могъ уже сомнѣваться что стекло, горный хрусталь оказываютъ дѣйствіе противоположное копалу, янтарю, сургучу, такъ что листокъ отталкиваемый одними, вслѣдствіе принятаго имъ электричества, притягивается другими. Это заставило меня думать что можетъ-быть есть два различные рода электричества. Тѣла наэлектризованныя—одно, однимъ, другое другимъ изъ этихъ электричествъ—притягиваются между собою. Два тѣла наэлектризованныя электричествомъ одного рода, отталкиваются взаимно. Послѣдующіе опыты, прибавляетъ Дюфе, укрѣпили меня въ этой мысли.“ Дюфе наименовалъ электричество развивающееся въ стеклѣ, горномъ хрусталѣ — *стекляннымъ*, въ янтарѣ, смолѣ, сургучѣ — *смолянымъ*. Но такъ какъ оказалось что данное тѣло можетъ пріобрѣтать то или другое электричество, смотря по тому какимъ другимъ тѣломъ оно натирается: стекло, наприкладъ, пріобрѣтаетъ смоляное электри-

чество, если натирать его мѣхомъ,—то Франклинъ заимѣнилъ эти наименованія терминами *плюсз-электричество* или *положительное* и *минусз-электричество* или *отрицательное* (по обозначенію германскаго ученаго Лихтенберга, $+E$ и $-E$).

Франклинъ ввелъ эти термины потому что, согласно его теоріи, электричество есть жидкость разлитая въ природѣ и которую каждое тѣло заключаетъ въ себѣ въ опредѣленномъ, свойственномъ ему количествѣ. Пока это количество не мѣняется, тѣло не наэлектризовано. Если тѣло получаетъ избытокъ электричества противъ нормальнаго своего состоянія, оно электризуется *плюсз-электричествомъ* или *положительнымъ*; если въ немъ недостатокъ электричества, оно имѣетъ *минусз-электричество* или *отрицательное*. Въ послѣдствіи предпочли разсматривать положительное и отрицательное электричество, какъ двѣ особыя жидкости, принимая что тѣло не наэлектризовано, когда въ немъ обѣ жидкости смѣшаны въ равныхъ количествахъ (ученіе Англичанина Симмера, 1759).

Чтобы пополнить свои доказательства, Дюфе взялъ „деревянную тонкую линейку, около полутора фута длиною, въ дюймъ шириною; въ срединѣ ея сдѣлалъ отверстіе около шести линій въ діаметрѣ; надъ этимъ отверстіемъ устроилъ родъ шалочки, какъ у магнитной стрѣлки (чашечка была сдѣлана изъ закрытаго кончика стеклянной трубки, въ формѣ маленькаго наперстка). Линейка устанавливалась на тонкомъ желѣзномъ остріи и была очень удобоподвижна... На одинъ конецъ ея поимѣшался грузъ, на другой—кусочекъ копала (смола), такъ что они оставались въ равновѣсіи, чего легко было достигнуть передвигая грузъ. Копаль былъ натертъ и чрезъ то наэлектризованъ. Когда къ нему подносили другой натертый кусокъ копала, обнаруживалось тотчасъ отталкиваніе; то же производили янтарь, сургучъ; стеклянная трубка, шарикъ хрусталя, напротивъ, обнаруживали притяженіе.“

Общій законъ что *тѣла одинаково наэлектризованныя отталкиваются взаимно, противоположно наэлектризованныя притягиваются* можно подтвердить помощію приемовъ значительно болѣе легкихъ чѣмъ приемы изобрѣтателя. Коснувшись бузиннаго шарика, висѣщаго на шелковой нити (фиг. 458), натертою стеклянною трубкой, электризуемъ его положительнымъ электричествомъ. Наэлектризовавшись, онъ тотчасъ оттолкнется. Отталкиваніе будетъ обнаруживаться каждый разъ когда станемъ приближать къ нему положительно наэлектризованное тѣло. Шарикъ будетъ



Фиг. 458.

напротивъ того, притягиваться, если приблизимъ къ нему тѣло отрицательно наэлектризованное.

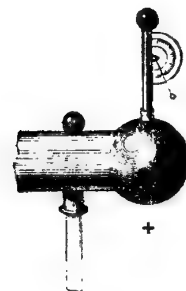
Взаимное отталкиваніе одинаково наэлектризованныхъ тѣлъ можно обнаружить весьма рѣзкимъ опытомъ, если помѣстить на кондукторъ электрической машины кисть (фиг. 459) изъ бумажныхъ полосокъ: онѣ поднимаются при наэлектризованіи. Подобнымъ образомъ поднимаются волосы на головѣ человѣка стоящаго на непроводникѣ, напримѣръ, на скамейкѣ со стеклянными ножками, и электризуемаго.

На отталкиваніи одинаково наэлектризованныхъ тѣлъ основывается устройство *электроскоповъ* и *электрометровъ*, т.-е. снарядовъ для обнаруженія электрическаго состоянія тѣлъ и измѣренія степени его напряженія. Кантонъ съ этою цѣлю употребляютъ два бузинные шарика на льняныхъ нитяхъ, повѣшенные на изолированномъ стativѣ. Шарикъ расходится, какъ скоро имъ сообщено электричество, и тѣмъ значитъ, чѣмъ сильнее сообщенный зарядъ. Англійскій ученый Генлей (Henley) ввелъ (1772) весьма

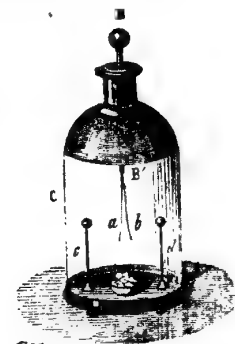


Фиг. 459.

удобный электрометръ въ формѣ шарика на тонкомъ стержнѣ (на фиг. 460 такой электрометръ изображенъ стоящимъ на кондукторѣ машины) прикрѣпленномъ верхнимъ концомъ къ деревянной палочкѣ. Шарикъ удаляется отъ палочки при электризованіи, а раздѣленная дуга позволяетъ измѣрять уголъ отклоненія. Фиг. 461 изображаетъ электроскопъ въ наиболѣе упо-



Фиг. 460.



Фиг. 461.

ребительной формѣ, состоящій изъ двухъ тонкихъ золотыхъ листочковъ на металлическомъ стержнѣ. Листочки расходятся какъ скоро стержню сообщено электричество. Это электроскопъ англійскаго ученаго Беннета (1787), весьма чувствительный.

§ 329. **Электрическая полярность.** При треніи оба тѣла, и натираемое и трущее, электризуются и притомъ противоположными электричествами, такъ что возбужденіе $+$ E всегда сопровождается соответственнымъ возбужденіемъ $- E$. Это положеніе, если оба тѣла дурные проводники, не трудно оправдать, испытывая ихъ электрическое состояніе послѣ тренія. Но если одно изъ тѣлъ проводникъ, то возбужденное въ немъ электричество не замѣчается, ибо уходится въ землю. Такъ бываетъ, напримѣръ, при натирании стекла руками, ибо наше тѣло проводникъ. Чтобы въ проводникѣ обнаружить электричество,

возбуждаемое трением, проводникъ должно подвергать трению въ изолированномъ состояніи (держа, напримеръ, на непроводящей ручкѣ). Такимъ способомъ можно наэлектризовать трениемъ металлы. *)

Положительное электричество нейтрализуется отрицательнымъ. Количество отрицательнаго электричества потребное чтобы нейтрализовать данное количество положительнаго считается *равнымъ* ему по величинѣ. При треніи оба электричества возбуждаются въ равномъ количествѣ, такъ что еслибы соединить ихъ, то тѣла пришли бы въ ненаэлектризованное или естественное состояніе. Соединеніе обнаруживается искрою, если производится чрезъ сближеніе тѣлъ до прикосновенія въ воздухѣ или иной непроводящей средѣ

Справедливость этихъ положеній Франклинъ оправдалъ слѣдующими опытами. Онъ замѣтилъ **) что 1) если человѣкъ натирающій стеклянную трубку стоитъ на смолѣ (вообще на непроводникѣ), напримеръ, на скамейкѣ со стеклянными ножками, а другой, также стоящій на смолѣ, извлекаетъ изъ трубки искры (слѣдовательно, принимаетъ чрезъ сообщеніе ея электричество), и если они при этомъ не касаются одинъ другаго, то оба, для третьяго лица стоящаго на полу, оказываются наэлектризованными. Это третье лицо можетъ отъ того и отъ другаго, приблизивъ суставъ руки, получить искру. 2) Если оба стоящіе на смолѣ лица находятся въ прикосновеніи, то ни то, ни другое не электризуются. 3) Если же они прикоснутся послѣ наэлектризованія, то это сопровождается искрой, значительно болѣе сильною чѣмъ искра между каждымъ изъ нихъ и человѣкомъ, стоящимъ на землѣ. 4) Послѣ этой искры ни тотъ ни другой не обнаруживаютъ ни малѣйшаго признака электричества. Франклинъ объяснилъ эти явленія, допустивъ что лицо натирающее стекло электризуется отрицательнымъ электричествомъ, въ то время какъ стекло электризуется положительно, сообщая свое электричество второму изолированному лицу, принимающему искры. Опыту можно

*) Опытъ былъ сдѣланъ Гейбертомъ (профессоръ въ Вѣнѣ) и за нимъ аббатомъ Геймеромъ (въ Мангеймѣ) въ 1780 году. Металлическая пластинка съ загнутыми краями, укрѣпленная на стеклянной ручкѣ, натиралась шелковою лентой, проходившею по ней какъ по желобку.

**) Еще нѣсколько прежде его подобное наблюденіе было сдѣлано въ Европѣ германскихъ ученыхъ Бозе въ Виттембергѣ и изслѣдовано въ Англіи Уатсономъ.

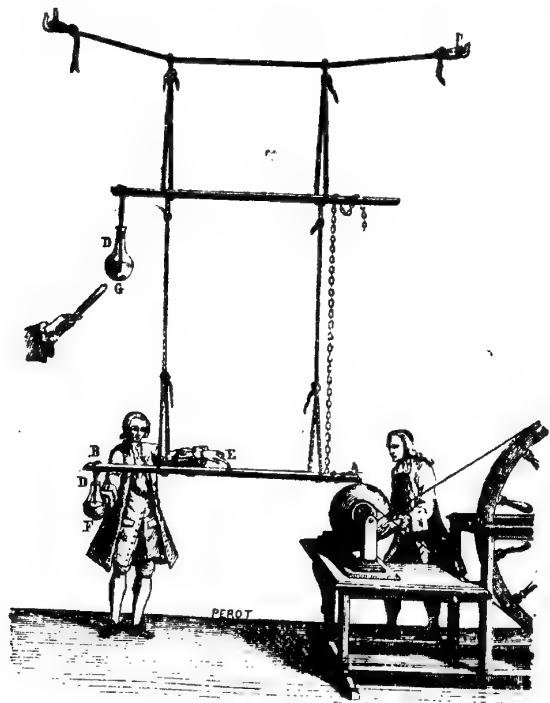
дать еще болѣе ясную форму, если, помѣстивъ двухъ наблюдателей на изолирующихъ подставкахъ, дать въ руки одному изъ нихъ лисій хвостъ или кошачій мѣхъ и заставить его ударять другаго (что производитъ такое же дѣйствіе какъ треніе). И ударяемый и ударяющій электризуются и притомъ противоположными электричествами (ударяющій положительнымъ). Количества эти равны между собою. Когда одно тѣло приобретаетъ $+E$, которое можно разсматривать какъ нѣкоторое положительное количество, другое получаетъ $-E$, отрицательное количество, по абсолютной величинѣ равное съ первымъ. При прикосновеніи, положительное электричество нейтрализуетъ равное количество отрицательнаго, возвращая тѣла въ ненаэлектризованное состояніе, подобно тому какъ сложеніе равныхъ величинъ съ противными знаками даетъ въ результатѣ нуль.

Данное тѣло можетъ чрезъ треніе приобретать и положительное и отрицательное электричество, смотря по тому какимъ другимъ тѣломъ оно натирается. Тѣла стоящіе въ лѣвомъ столбцѣ электризуются положительно, будучи натираемы какими-либо изъ тѣлъ соотвѣтствующаго ряда въ правомъ столбцѣ.

	+	—
стекло	амальгама на кожѣ (изъ ртути, олова и цинка).	
мѣхъ	стекло, металлы, смолы.	
мѣхъ, шерсть, полотно, шелкъ, металлы . . .	смолы, янтарь.	
полированное стекло . .	шерсть, полотно, шелкъ.	
шелкъ	металлы.	

§ 330. Замѣчательныя открытія середины прошлаго столѣтія значительно расширили область изслѣдуемыхъ электрическихъ явленій. 1) *Открытіе лейденской банки.* Въ январѣ 1746 года, Реомюръ въ Парижѣ получилъ письмо на латинскомъ языкѣ изъ Лейдена отъ тамошняго профессора философіи и математики Мусшенбрёка (Musschenbroek). Въ письмѣ было сказано: „Хочу сообщить вамъ новый и странный опытъ, который советую самимъ никакъ не повторять. Я дѣлалъ нѣкоторыя изслѣдованія надъ электрическою силой и для этой цѣли повѣсилъ (фиг. 462) на двухъ шнурахъ изъ голубаго шелку желѣзный стволъ АВ, получавшій, чрезъ сообщеніе, электричество отъ стекляннаго шара, который приводился въ

быстрое вращеніе и натирался прикосновеніемъ рукъ. На другомъ концѣ *B* свободно висѣла мѣдная прово-



Фиг. 462.

лока, конецъ которой былъ погруженъ въ круглый стеклянный сосудъ *D*, отчасти наполненный водою, который я держалъ въ правой рукѣ *F*; другою же рукой я пробовалъ извлечь искры изъ наэлектризованнаго ствола. Вдругъ моя правая рука была поражена съ такою силою, что все тѣло содрогнулось какъ отъ удара молніи. Сосудъ хотя и изъ тонкаго стекла обыкновенно сотрясеніемъ этимъ не разбивается, и кисть руки не перемѣщается, но рука и все тѣло поражаются столь страшнымъ образомъ что и

сказать не могу; однимъ словомъ, я думалъ что пришелъ конецъ... Если поставить сосудъ *D* на металлическую подставку, помѣщенную на деревянномъ столѣ, и коснуться металла кончикомъ пальца, извлекая искру другою рукой, то также получается очень сильный ударъ.“

Въ своемъ, къ тому же преувеличенномъ, описаніи Мюшенбрёкъ не упоминаетъ что первоначально опыты были сдѣланы не имъ, а случайно однимъ богатымъ любителемъ физики въ Лейденѣ Кунесомъ, повторившимъ у себя дома опыты виденные имъ у Мюшенбрёка и другаго профессора Аллмана. Въ послѣдствіи оказалось что и Кунесу не принадлежитъ честь перваго открытія. Въ Германіи, Клейстъ, деканъ соборной церкви въ Каминѣ, въ Помераніи, еще въ октябрѣ 1745 года, произвелъ подобный опытъ, о которомъ и сообщилъ Берлинской академіи. Опытъ описанъ такъ: „если вставить гвоздь или толстую мѣдную проволоку въ небольшую медицинскую стеклянку и электризовать, то обнаруживаются особенно сильныя дѣйствія... Если влить въ сосудъ немного ртути или нѣсколько капель спирта, то опыты удаются еще лучше... Если во время электризованія приблизить къ гвоздю палецъ или монету, то выходящій ударъ такъ силенъ что рука или плечо потрясаются.“

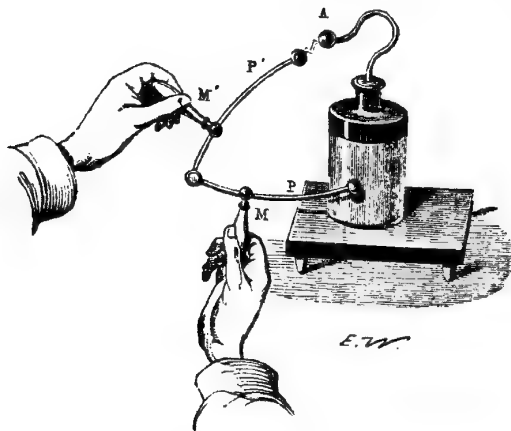
§ 331. Различные опыты съ Лейденскою банкой.

Лейденскій опытъ былъ повторяемъ всюду куда дошло о немъ извѣстіе и гдѣ были средства для производства электрическихъ опытовъ. Въ Парижѣ, черезъ три мѣсяца, опытъ показывали публично за деньги. Въ этомъ городѣ изслѣдованіемъ паразитическаго явленія занялся въ особенности аббатъ Ноллетъ, ученикъ Дюфе, славившійся своими чтеніями и искусствомъ производить лекціонные опыты. Онъ повторилъ опытъ съ сотрясеніемъ въ присутствіи короля въ Версалѣ, образу цѣпь изъ двухсотъ сорока человѣкъ, взявшихъ за руки, причемъ „первый держалъ въ свободной рукѣ банку, а послѣдній извлекалъ искру. Ударъ чувствовался всѣми въ тотъ же моментъ; было куріозно видѣть разнообразіе жестовъ и слышать мгновенный вскрикъ исторгаемый неожиданностію у большей части получающихъ ударъ.“

Врач Лемонье показалъ что разрядъ можетъ проходить чрезъ значительное протяженіе воды. Для этого онъ провелъ по берегу пруда въ Парижскомъ Ботаническомъ Саду желѣзную цѣпь, нигдѣ не касаясь воды; „кусочекъ желѣза привязанный къ пробкѣ былъ помѣщенъ плавающимъ на водѣ близъ того конца цѣпи гдѣ былъ Лемонье съ лейденскою банкой. Другой наблюдатель, взявъ одною рукой второй конецъ цѣпи, другую погрузилъ въ воду. Тогда Лемонье, держа въ одной рукѣ ближайшій къ нему конецъ цѣпи, въ другой банку, приблизилъ (къ проводнику этой послѣдней) проволоку, соединенную съ кускомъ желѣза, плавающимъ на водѣ. Въ то же мгновеніе оба наблюдателя почувствовали сотрясеніе лейденскаго опыта.“

Въ Англіи Уатсонъ заставлялъ разрядъ проходить чрезъ Темзу. Въ Германіи опытами съ лейденскою банкой занимались: Гралатъ, соединявшій банки въ батарею; Винклеръ, Бозе и другіе. Винклеръ, въ Лейпцигѣ, когда въ первый разъ произвелъ лейденскій опытъ, ощутилъ конвульсіи во всемъ тѣлѣ и послѣ чувствовалъ такой жаръ, что боялся горячки; правою рукою восемь дней не могъ писать. Бозе, авторъ цѣлаго стихотворенія объ электричествѣ, такъ проникся энтузіазмомъ къ новому опыту, что высказалъ желаніе быть убитымъ электрическимъ разрядомъ, дабы его смерть послужила предметомъ статьи въ изданіяхъ Парижской Академіи Наукъ.

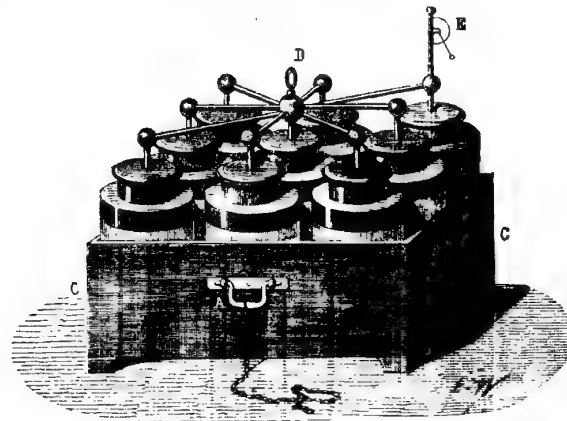
Нынѣ употребляемое устройство, т.-е. форму банки (фиг. 463) обложенной снаружи и внутри металличе-



Фиг. 463.

скими обкладками, причемъ внутренняя иногда замѣняется металлическими листочками, дробинками и т. п.,

—лейденскій сосудъ получилъ въ Англіи (Бевисъ, Уатсонъ). Наружная обкладка была введена, когда было замѣчено что проводникъ прикасающійся къ банкѣ снаружи (рука наблюдателя въ первыхъ опытахъ) имѣетъ существенное значеніе, и банку стали помѣщать на металлической подставкѣ. Фиг. 464 изображаетъ соединеніе банокъ въ батарею.

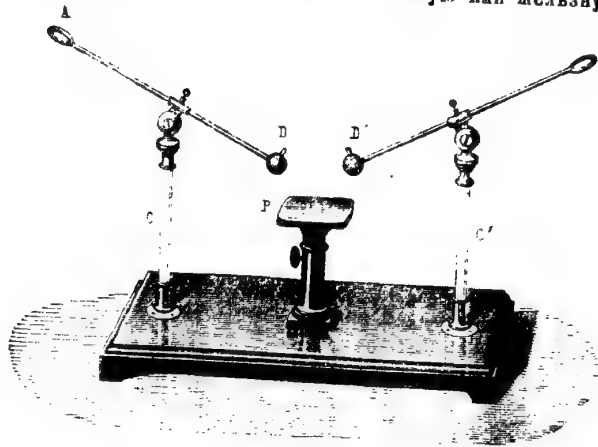


Фиг. 464.

На фиг. 463 видно какъ извлекается искра изъ банки безъ вреда для наблюдателя, помощью металлическаго *разрядника* на изолирующихъ ручкахъ. Внѣшняя обкладка, металлическая дуга разрядника, слой воздуха и внутренняя обкладка образуютъ вмѣстѣ *цѣпь*, въ которой происходитъ *разрядъ* или движеніе электричества, невидимо совершающееся въ металлѣ, въ воздухѣ же сопровождающееся искрою. Когда желаютъ чтобы разрядъ прошелъ чрезъ какое-либо тѣло, то тѣло это вводятъ въ цѣпь помощью, наримѣръ, *всеобщаго разрядника* Генлея, изображеннаго на фиг. 465, состоящаго изъ двухъ вѣтвей, между концами которыхъ (концы эти бывають или въ формѣ шариковъ, или въ формѣ острійевъ) помѣщается испытуемое тѣло. Вѣтви разрядника соединяются одна съ внѣшнею обкладкой, другая, въ моментъ опыта, съ внутреннею.

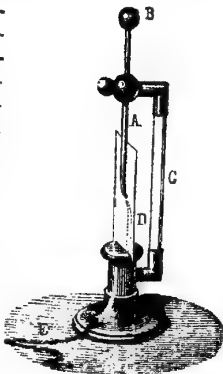
Вообще многообразные опыты съ лейденскою банкой и батареей можно свести къ слѣдующимъ группамъ: а) *Физиологическія дѣйствія* — нервное сотрясеніе, сопровождающееся при сильномъ разрядѣ даже смертію живаго существа, подвергнутаго

разряду. б) *Термическія дѣйствія*—нагрѣваніе до красно-и бѣло-каленія, расплавленіе тонкой проволоки (опытъ удобно можно произвести, натянувъ тонкую платинную или желѣзную прово-



Фиг. 465.

локу между вѣтвями *всеобщаго разрядника*; расплавленіе, со-
жиганіе тѣлъ. с) *Свѣтъ*: искра, какъ показываетъ спектральное
изученіе, заключаетъ въ себѣ раскаленные частицы какъ тѣла
изъ коихъ извлекается, такъ и среды, въ которой образуется.
д) *Механическія дѣйствія*—разбрасываніе частицъ воздуха въ
томъ мѣстѣ гдѣ перерывъ цѣпи и обра-
зуется искра; пробиваніе твердыхъ дур-
ныхъ проводниковъ, дерева, карты, кни-
ги, стекла и проч. Пробиваемое тѣло по-
мѣщается между вѣтвями разрядника, окан-
чивающимися острыми. Расположеніе опы-
та съ картою изображено на фиг. 466.
При пробиваніи карты замѣчательно что
образовавшаяся дырочка представляетъ
съ обѣихъ сторонъ возвышенія, отлича-
ясь этимъ отъ дырочки проволокой, на-
примѣръ, иглою, представляющей съ
одной стороны углубленіе, съ другой —
возвышеніе. Если искра извлекается вну-
три жидкаго тѣла, то разбрасываніе ча-
стицъ имѣетъ слѣдствіемъ сильное давленіе
на стѣнки сосуда, въ которомъ нахо-
дится жидкость. Если сосудъ есть тру-
бочка, закрытая съ концевъ пробками,
черезъ которыя проходятъ проволоки, сближенные такъ, что
между ихъ кончиками остается небольшой промежутокъ, гдѣ

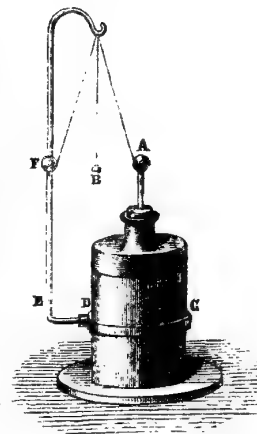


Фиг. 466.

выскакиваетъ искра, то трубка разбивается и разбрасывается
(замѣтить что искра бываетъ не только въ изолирующихъ
жидкостяхъ, какъ масло, жиръ, но и въ проводящихъ, какъ
вода, чрезъ которую разрядъ можетъ, впрочемъ, проходить и
безъ искры, если проводники не близки между собою. е) *Хими-
ческія дѣйствія*: можно, наприимѣръ, произвести разложеніе воды.
Въ первый разъ оно сдѣлано было этимъ путемъ въ 1789 *)
помощію двухъ золотыхъ проводочекъ, введенныхъ въ трубку
съ водою такъ что между ними былъ опредѣленный промежу-
токъ, въ которомъ искры не было, но въ темнотѣ замѣтно было
сіяніе на концахъ. ф) *Магнитныя дѣйствія*: игла намагничи-
вается будучи помѣщена перпендикулярно къ металлической про-
волоцѣ, чрезъ которую идетъ разрядъ.

§ 332. Франклинова теорія лейденской банки. Первое
объясненіе главныхъ условій дѣйствія лейденской
банки было дано Франклиномъ (1747) и находит-
ся въ его знаменитыхъ *Письмахъ объ электричествѣ*
изъ Филадельфіи. Франклинъ доказалъ что въ заря-
женной лейденской банкѣ наэлектризована не одна
внутренняя обкладка (вода въ первоначальной формѣ
опыта), непосредственно получающая электричество
отъ машины; внѣшняя также оказывается наэлектри-
зованною и притомъ противо-
положнымъ съ внутреннею элек-
тричествомъ.

Поставимъ, говорить онъ, заряжен-
ную банку на смолу, возьмемъ въ ру-
ку сухую шелковину съ пробочнымъ
шарикомъ на концѣ и приблизимъ къ
проводнику банки: шарикъ притянется
и тотчасъ оттолкнется (наэлектризу-
ясь тѣмъ электричествомъ какое
внутри банки). Но опустимъ руку
такъ чтобы шарикъ подошелъ къ ни-
зу банки: онъ тотчасъ сильно притя-
нется, отдавая свой огонь (давая ма-
ленькую искру). Тотъ же опытъ мож-
но привести въ слѣдующей формѣ,
указанной также Франклиномъ. Про-
ведя проволоку отъ внѣшней об-
кладки, въ родѣ того какъ показано
на фиг. 467, зарядивъ банку и по-
ставивъ на непроводникѣ, повѣсимъ



Фиг. 467.

*) Фанъ Троствикъ и Дейманъ въ Голландіи.

между шариком *A* и проводником соединенным съ внешней обкладкой пробковый шарикъ на шелковой нити. Шарикъ, наэлектризовавшись у *A*, отталкивается и переноситъ электричество къ проводнику его притягивающему; электричество шарика соединяется при *F* съ равнымъ количествомъ противоположнаго электричества; свободный отъ электричества шарикъ вновь электризуется, но уже электричествомъ внешней обкладки; отталкиваясь, притягиваясь шарикомъ *A* и т. д., и качается до разряда банки такимъ послѣдовательнымъ переносомъ малыми дозами электричества отъ одной обкладки къ другой. „Если, говоритъ Франклинъ, человекъ, стоящій на непроводникѣ, коснется проволоки банки (идущей отъ внутренней обкладки), тогда какъ другой, стоящій на полу, держитъ банку въ рукахъ, то первый электризуется положительнымъ электричествомъ, и всякій стоящій на полу можетъ изъ него получить искру... Но если держащій банку стоитъ на непроводникѣ, а другой касается проволоки, то первый электризуется отрицательно“ (свидѣтельствуя что внешняя обкладка заряжена минусъ-электричествомъ). Не трудно наэлектризовать банку такъ что внутри ея будетъ отрицательное электричество. Для этого надо къ кондуктору машины поднести банку съ внешней обкладкой, держа снарядъ за проволоку соединенную съ внутренней обкладкой. Если, поставивъ на столѣ двѣ одинаково сильно заряженныя банки, изъ конхъ одна съ положительнымъ электричествомъ внутри, другая же съ отрицательнымъ, повѣсить между ними шарикъ на нити, то шарикъ будетъ качаться какъ во второмъ опытѣ, и банки обѣ постепенно разрядятся. Въмѣсто качающагося шарика, Франклинъ устроивалъ горизонтально вращающееся колесо изъ стеклянныхъ спицъ, каждая съ металлическимъ шарикомъ на концѣ. Будучи помѣщено между проводниками отъ двухъ противоположныхъ банокъ, оно приходило во вращеніе, обнаруживая довольно значительную механическую силу. *)

Наконецъ Франклинъ показалъ что „вся сила банки не ея мощъ давать сотрясенія лежитъ въ самомъ стеклѣ“, и что электричества, сообщаемыя и уводимыя помощію обкладокъ пребывающей формѣ съ водою внутри) и поставивъ банку (въ первоначальную вынулъ пробку съ проводникомъ. „Взявъ затѣмъ банку въ руку, поднесъ палецъ другой руки къ отверстию: изъ воды выпшла сильная искра, и сотрясеніе было столь же сильно какъ при проводникѣ. Чтoby изслѣдовать не въ водѣ ли сила... банка вновь была наэлектризована и поставлена на столѣ. Вынули пробку съ проводникомъ какъ прежде и, приподнявъ банку

*) Франклинъ называлъ снарядъ электрическимъ вертеломъ. Въ одномъ изъ писемъ, описывая фантастическій праздникъ затѣянный имъ и его друзьями для заключенія опытовъ, онъ

вылили воду въ пустой сосудъ, стоявшій также на столѣ, ожидая, что если сила пребываетъ въ водѣ, то отъ воды этой получится сотрясеніе. Но его не было и признака... Но наливъ банку свѣжею водою изъ чайника получили отъ нея сильный ударъ.“ Этотъ опытъ Франклина удобно производится помощію банокъ подвижными обкладками, какъ на фиг. 468. Если, сложивъ такую банку, зарядить ее и потомъ разобрать, то обкладки чрезъ прикосновеніе рукъ, очевидно, потеряютъ электричество. Между тѣмъ вновь собравъ банку, получаемъ изъ нея искру.

Желая убѣдиться что такое зарядженіе стекла электричествомъ зависитъ не отъ формы банки, Франклинъ взялъ „оконное стекло, положилъ его на руку, а на верхнюю его поверхность наложилъ свинцовый листъ и электризовалъ его. Приблизивъ затѣмъ палецъ къ верхней обкладкѣ, получилъ искру и сотрясеніе“. Обложивъ и нижнюю поверхность свинцовымъ листомъ, онъ получилъ стекло между двумя обкладками (не доходящими до краевъ), замѣнявшее лейденскую банку. Изъ нѣсколькихъ такихъ досокъ составилъ электрическую батарею.

Причину почему при наэлектризованіи одной изъ обкладокъ банки другая сама собою электризуется противоположнымъ электричествомъ увидимъ ниже.

§ 333. Второе замѣчательное открытіе середины прошлаго столѣтія въ области электричества: доказательство тождества молніи и электрической искры. Многие ученые, еще до Франклина, усматривали аналогію

говоримъ: „мы зажжемъ спиртъ искрою, проведенною съ одной стороны рѣки, чрезъ воду, на другую... калмыцкій пѣтухъ будетъ убитъ электрическимъ ударомъ и зажаренъ на электрическомъ вертелѣ; предъ пламенемъ возженнымъ электричествомъ. При этомъ, здоровье знаменитыхъ знатоковъ электричества въ Англіи, Голландіи, Франціи и Германіи будетъ пить изъ электрическихъ бокаловъ (изъ тонкаго стекла, электризуемыхъ какъ лейденская банка, и дающихъ ударъ при поднесеніи ко рту), при громѣ пушекъ, запаленныхъ искрою батарей.“



Фиг. 468.

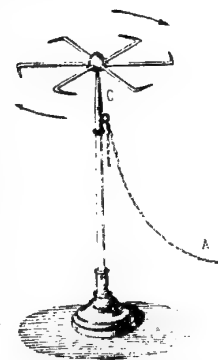
молнии и грома съ электрическою искрой и не трескомъ*). Франклинъ далъ прямое доказательство тождества этихъ явленій, указавъ средство извлекать электричество изъ облаковъ. Средство это онъ основалъ на замѣчательномъ, открытомъ имъ, дѣйстви *остріевъ*, какъ по отношенію къ уведенію, такъ и по отношенію къ испусканію электричества. „Укрѣпимъ, говоритъ онъ, свинцовый шаръ трехъ или четырехъ дюймовъ въ діаметрѣ въ отверстіи чистой и сухой бутылки. Надъ нимъ повѣсимъ на длинной тонкой шелковой нити маленький пробковый шарикъ, такъ чтобъ онъ прилегалъ съ боку къ свинцовому шару. Какъ только шаръ наэлектризованъ, пробковый шарикъ отталкивается и удаляется дюйма, напримѣръ, на четыре или на пять. Тогда приблизимъ на разстояніе шести или восьми дюймовъ отъ свинцоваго шара кончикъ тонкаго и остраго шила. Отталкиваніе тотчасъ прекратится, и шарикъ упадетъ обратно на свинцовый шаръ. Тупое тѣло надо приблизить на дюймъ и извлечь искру, чтобы произвести то же дѣйствіе... Приближая остріе въ темнотѣ, можно на немъ замѣтить сіяніе подобное свѣту Иванова червячка... Чтобы показать что острія такъ же легко испускаютъ электричество какъ отнимаютъ его у другихъ тѣлъ, укрѣпимъ на свинцовомъ шарѣ острую иглу: шаръ никакъ нельзя будетъ наэлектризовать въ такой степени чтобъ онъ оттолкнулъ пробковый шарикъ.“ Въ болѣе значительныхъ размѣрахъ подобные опыты Франклинъ дѣлалъ надъ большимъ цилиндрическимъ кондукторомъ облепленнымъ

*) Франклинъ указываетъ слѣдующія свойства „общія электрической жидкости и молніи: давать свѣтъ;.. направляться зигзагами;.. легко проводиться металлами, издавать шумъ или трескъ взрыва;.. разщеплять тѣла, чрезъ которыя проходитъ; убивать животныхъ; плавить металлы; зажигать воспламеняющіяся тѣла; издавать сѣрный запахъ.“

золотою бумагой, въ десять футовъ длиною и футъ въ діаметрѣ, висѣвшимъ на шелковыхъ шнурахъ.

Прибавимъ, что свойствами остріевъ въ высокой степени обладаетъ пламя. Разогрѣтый газъ, образующій пламя, дѣйствуетъ какъ проводникъ со многими остріями.

Вслѣдствіе значительнаго скопленія на остріѣ электричества, частицы воздуха окружающія остріе сильно электризуются, и отъ взаимнаго отталкиванія ихъ образуется родъ вѣтра, производящаго любопытныя явленія. Такъ, если поднести къ острію, поставленному на кондукторъ электрической машины, зажженную свѣчу, то пламя наклоняется и даже можетъ быть задутъ воздушнымъ потокомъ, идущимъ отъ острія. Подвижное колесо, (Фиг. 469) оканчивающееся остріями, приходитъ во вращеніе въ сторону противоположную той куда направлены острія (опытъ представляющій аналогію съ Сегнеровымъ колесомъ). Прибавимъ что въ темнотѣ истеченіе или точиѣ медленный разрядъ электричества чрезъ остріе сопровождается сіяніемъ въ формѣ кисти свѣта имѣющей не одинаковый видъ въ случаѣ положительнаго и отрицательнаго электричества. Сіяніе обнаруживающееся при значительномъ напряженіи электричества въ атмосферѣ, на концахъ копій, мачтахъ и т. под. (огни Кастора и Поллукса, Св. Эльма) есть явленіе этого рода.



Фиг. 457.

Пользуясь свойствомъ остріевъ, Франклинъ предложилъ слѣдующую систему опытовъ для разрѣшенія вопроса объ электричествѣ облаковъ. „Чтобы (1749) разрѣшить, говоритъ онъ, вопросъ наэлектризованы ли грозовыя облака или нѣтъ, я хочу предложить опытъ, который можно сдѣлать на мѣстахъ гдѣ къ тому представляются удобства. Поставимъ на вершинѣ высокой башни или подмостокъ будку такой величины чтобъ она могла вмѣстить человека и электрическую скамейку (т.-е. изолированную). Отъ средины скамейки проведемъ,—выгнувъ его чрезъ отверстіе дверцы,—вертикально въ высоту желѣзный шестъ футовъ въ двадцать или тридцать длиною съ заостренными

на верхушкѣ концомъ. Если будемъ заботиться чтобы скамейка была чиста и суха, то человекъ на ней стоящій наэлектризуется во время низко проходящихъ облаковъ и станетъ давать искры; ибо шесть приведетъ (электрическій) огонь изъ облаковъ. Если желаемъ предохранить наблюдателя отъ опасности, — въ чемъ, впрочемъ, полагаю, не будетъ надобности, — то сдѣлаемъ такъ чтобы онъ стоялъ (не на скамейкѣ, а) на полу будки и помощію сургучной ручки приближалъ отъ времени до времени къ шесту проволоку кольцеобразно-загнутымъ концомъ, тогда какъ другой конецъ ея прикрѣпленъ къ проводящимъ тѣламъ. Когда шесть наэлектризуется, изъ него будутъ выскакивать искры къ проволоцѣ, минуя наблюдателя.* Этотъ опытъ былъ въ первый разъ осуществленъ во Франціи, въ 1752 году, Далибаромъ и Делоромъ. Результатъ вполне оправдалъ предсказаніе Франклина.

Письма объ электричествѣ Франклина имѣли большой успѣхъ во Франціи; многие изъ описываемыхъ въ нихъ опытовъ были повторены въ присутствіи короля (Людвика XV). По совѣту знаменитаго натуралиста Бюффона, Далибаръ и Делоръ рѣшились осуществить планъ Франклина. Далибаръ дѣлалъ свои наблюденія въ Марли, мѣстечкѣ недалеко отъ Парижа; Делоръ въ своемъ домѣ, стоявшемъ на довольно высокомъ пунктѣ столицы. Снарядъ Далибара состоялъ изъ желѣзнаго прута длиною въ 40 футовъ, нижній конецъ котораго помѣщался въ маленькой будкѣ, куда не проникалъ дождь, между тѣмъ какъ самый прутъ длинными шелковыми шнурами, скрытыми отъ дождя, прикрѣплялся къ тремъ деревяннымъ столбамъ. Заботу о снарядѣ Далибаръ, въ свое отсутствіе, поручилъ одному столѣру, на котораго могъ положиться и который первый получилъ искру изъ шеста, 10 мая 1752 года, во время небольшой грозы.

Еще прежде чѣмъ извѣстіе о французскихъ опытахъ достигло Филадельфіи, Франклинъ успѣлъ извлечь электричество изъ грозового облака помощію инаго приѣма, который онъ описываетъ слѣдующимъ образомъ. „Сдѣлайте крестъ изъ двухъ легкихъ деревянныхъ полосъ, котораго вѣтви такой длины что достигаютъ четырехъ концовъ большаго, но тонкаго шел-

коваго платка, если его растянуть. Концы платка прикрѣпите къ концамъ креста: получится тѣло змѣя. Если снабдить его хвостомъ, путами и веревкою, то онъ будетъ подыматься въ воздухѣ какъ обыкновенный змѣй изъ бумаги. Но какъ онъ изъ шелка, то лучше бумажнаго можетъ выдержать вѣтеръ и сырость, не разрываясь. На концѣ вверхъ глядящей вѣтви креста должно укрѣпить остріе изъ проволоки, выходящее изъ дерева на футъ и болѣе. Къ концу веревки ближайшемъ къ рукѣ привяжите шелковую тесьму. Въ томъ мѣстѣ гдѣ веревка соединяется съ шелковою тесьмою можно вставить ключъ. Змѣй пускаютъ, видя приближающуюся грозу. Наблюдатель держащій веревку долженъ стоять въ дверяхъ, или у окна, вообще подъ навѣсомъ, чтобы тесьма не намокла. При этомъ должно озаботиться чтобы веревка не касалась дверей или рамы. Когда грозовое облако проходитъ надъ змѣемъ, остріе притягиваетъ изъ него электрическій огонь, и змѣй съ его веревкой электризуется. Свободно висѣющія волокна веревки поднимаются, и если приблизить палецъ, притягиваются къ нему. Когда дождь смочитъ змѣя и веревку, такъ что она легче станетъ проводить электричество, то окажется что, при приближеніи сустава пальца къ ключу, изъ ключа будутъ выскакивать искры*). Этимъ ключомъ можно заряжать банки, и привлеченнымъ этимъ способомъ электричествомъ можно зажечь спиртъ и произвести всѣ прочіе электрическіе опыты, какіе обыкновенно дѣлаются помощію натираемыхъ стеклянныхъ шаровъ и трубокъ. Такимъ образомъ сходство электрической матеріи и матеріи молніи вполне доказано.“

*. Таковы именно были обстоятельства сопровождавшія первый опытъ Франклина, какъ видно изъ разказа Пристля въ его *Исторіи электричества*, составленнаго, надо полагать, со словъ самого Франклина.

Опыты со змеемъ въ весьма большихъ размѣрахъ были произведены во Франціи въ 1753 году, де-Рома въ Неракѣ (мысль о змѣе де-Рома возымѣлъ независимо отъ Франклина). Пущенный змѣй имѣлъ болѣе 7 футовъ въ высоту, 3 фута ширины въ наибольшемъ діаметрѣ: площадь его была 18 квадр. футовъ. Веревка была обвита тонкою мѣдною проволокою, подобно тому какъ обвиваются струны, но не такъ часто. Къ нижнему концу ея былъ привязанъ тонкій шелковой снуръ; къ веревкѣ, около того мѣста гдѣ она соединялась со снуромъ, была привѣшена жестяная трубка около фута длиною, въ дюймъ въ діаметрѣ, съ цѣлью извлекать изъ нея, когда змѣй и веревка наэлектризуются, искры помощью металлическаго разрядника на стеклянной ручкѣ, отъ котораго шла цѣпочка къ землѣ. 7 іюля 1753 года, въ день обильный грозowymi облаками, змѣй поднятъ на высоту болѣе 500 футовъ. До двухсотъ жителей присутствовали при опытахъ. Многие извлекали искры изъ жестяной трубки, „одни приближая пальцы, другіе ключами, многіе шагами, иные палками и тростями“. Получивъ довольно значительный ударъ, де-Рома прибѣгъ къ разряднику. Извлекались полосу свѣта, болѣе трехъ дюймовъ длиною, трескъ которыхъ былъ слышанъ за 200 шаговъ. Рома на разстояніи трехъ футовъ чувствовалъ на лицѣ какъ бы прикосновеніе паутины. Особенно замѣчательно было слѣдующее явленіе. „Жестяная трубка была отъ земли на разстояніи трехъ футовъ. Три соломенки, наибольшая около фута длиною, другая 4 или 5 дюймовъ и третья 3 или 4 дюйма поднялись стоймя и, касаясь земли концами, скакали вокругъ трубки какъ танцующія маіонетки, не прикасаясь одна къ другой.... Длиннѣйшая была притянута; произошелъ разрядъ изъ трехъ ударовъ, конечно не столь сильныхъ какъ падающій громъ, но напоминавшихъ его своею стремительностію. Одни сравнивали ихъ съ ударомъ курьерскаго бича, другіе съ пертардою фейерверка, другіе съ разбитіемъ о землю кружкою. Искры имѣли форму полосъ до 8 дюймовъ длиною, при 4 или 5 линіяхъ въ діаметрѣ.“ Соломенка понеслась вдоль веревки; многіе прослѣдили ее на протяженіи туазовъ 45 или 50. Она то притягивалась, то отталкивалась; движеніе сопровождалось почти непрерывнымъ трескомъ.

Прибавимъ что любопытные опыты со змеемъ были произведены также въ Голландіи, знатнымъ русскимъ любителемъ озяки княземъ Дм. Голицынымъ.

Опыты съ шестомъ, въ свою очередь, были повторяемы во многихъ мѣстахъ. Одно изъ первыхъ повтореній было сдѣлано въ Петербургѣ Рихманомъ и Ломоносовымъ (въ концѣ лѣта 1752 года и лѣтомъ 1753). Рихманъ заплатилъ жизнью за свою любознательность. Онъ былъ убитъ 26 іюля 1753, искрой вылетѣвшею изъ шеста. въ то время какъ онъ производилъ наблюденія *).

*). Подробности о наблюденіяхъ Рихмана и Ломоносова и о смерти Рихмана смотри въ сочиненіи *Жизнь и труды Ломоносова* Н. Любимова. (Москва, 1872).

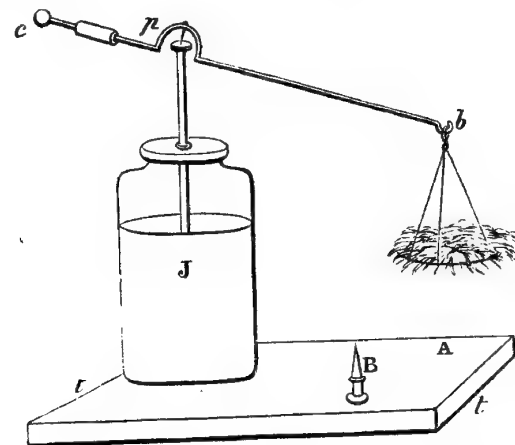
§ 334. Изобрѣтеніе громоотводовъ. „Нельзя ли извлечь нѣкоторую пользу для человѣческаго рода изъ знанія силы остріевъ?“ спрашивалъ себя Франклинъ, открывъ способность остріевъ незамѣтно извлекать электричество изъ наэлектризованныхъ тѣлъ. Если облако есть наэлектризованное тѣло, то нельзя ли ослабить и отнять его грозovou силу помощью остріевъ, помѣщенныхъ приличнымъ образомъ, которые дѣйствуя путемъ тихаго разряда, предохраняли бы земные предметы отъ стремительнаго разряда въ формѣ молніи? Отсюда идея о *громоотводахъ*. Франклинъ подвергъ свою мысль испытанію помощью опыта, представлявшаго въ маломъ видѣ дѣйствіе громоотвода. Онъ повѣсилъ на веревкѣ, прикрѣпленной къ потолку, коромысло въсовъ длиною въ два и болѣе футовъ, съ большими металлическими чашками, привѣшенными на шелковыхъ снуркахъ. Чашки отстояли приблизительно на футъ отъ пола. Крученіемъ веревки не трудно было дать коромыслу съ чашками вращательное движеніе. Желѣзный молотокъ вбивался въ полъ, такъ что чашки въ своемъ движеніи проходили надъ нимъ. „Одну изъ чашекъ электризовали помощью проводника лейденской банки. Когда коромысло было приведено въ движеніе, то можно было видѣть: что наэлектризованная чашка, во все время притягиваемая къ полу, опускается еще ниже, проходя надъ молоткомъ; а если онъ находится достаточно близко, то даетъ искры отдавая ему свой (электрическій) огонь. Но если укрѣпить на концѣ молотка иголку, такъ чтобъ она стояла вертикально, то чашка, вмѣсто того чтобы притягиваться молоткомъ и давать искру, незамѣтно отдаетъ свое электричество острію и надъ молоткомъ подымается выше. Даже если иголку вбить въ полъ около молотка, но такъ чтобъ ея остріе вертикально подымалось вверхъ, то конецъ молотка, хотя онъ много выше иголки, все-таки не будетъ притягивать

чашку и получать ея электричество: электричествомъ этимъ овладѣваетъ игла и уводитъ его прежде чѣмъ чашка подойдетъ къ молотку настолько близко чтобы между ними обнаружилось взаимодѣйствіе. Если, теперь, молнія и электрическій огонь одно и то же, то чашка можетъ представлять собою грозовое облако, горизонтальное движеніе чашки соответствуетъ движенію облака надъ землею, молотокъ есть какъ бы гора или высокое зданіе. Если все это такъ, то нельзя ли воспользоваться знаніемъ силы остренья дабы защитить дома, церкви, корабли отъ ударовъ молній? Надо начать съ того чтобы на наиболѣе высокихъ частяхъ зданія поставить вертикально желѣзные шесты. Концы ихъ должны быть заострены какъ иглы и, для предохраненія отъ ржавчины, вызолочены. Отъ нижняго конца шеста должно по зданію, внѣ его, провести проволоку въ землю; на корабляхъ проволока должна проходить внизъ по мачтѣ и оттуда въ воду. Эти заостренные шесты, по всему вѣроятію, будутъ незаметно уводить электричество изъ облака и уведутъ его прежде чѣмъ оно подойдетъ настолько чтобы дать ударъ, и такимъ образомъ обезопасятъ насъ отъ такого внезапнаго несчастія.

Фиг. 470 изображаетъ опытъ подобный опыту Франклина съ чашкою вѣсовъ, только расположенный нѣсколько иначе. Чашка висящая на коромыслѣ и несущая комъ хлопка представляетъ подобіе облака.

Устраиваемые, согласно мысли Франклина, громоотводы мало по малу вошли въ общее употребленіе хотя и не безъ противодѣйствія со стороны нѣкоторыхъ ученыхъ (въ Европѣ), полагавшихъ что выставленные на зданіяхъ шесты, притягивая электричество, должны привлечь опасность. Опыты многихъ лѣтъ показали, напротивъ, что громоотводы удовлетворяютъ назначенію и особенно оказались полезными на высокихъ зданіяхъ и морскихъ судахъ. Случай

удара молніи въ громоотводы обыкновенно не сопровождался вредомъ для защищаемыхъ предметовъ. Существенное условіе для дѣйствія громоотвода

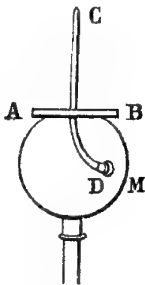


Фиг. 470.

то чтобы онъ былъ соединенъ хорошимъ проводникомъ съ землею и притомъ съ ея сравнительно хорошо проводящими частями, напримѣръ съ водою подземныхъ ключей въ колодцахъ, съ водою рѣкъ и т. под. Потому особенное вниманіе должно быть обращено на то чтобы желѣзные свинченныя полосы, идущія отъ мѣста громоотвода къ землѣ, нигдѣ не представляли перерыва и чтобы всѣ проводящія части зданія были по возможности соединены съ громоотводомъ и слѣдовательно все зданіе представляло какъ бы широкій каналъ для истеченія электричества въ землю. Чтобы дѣйствіе громоотвода, въ качествѣ острія, было сильнѣе, Франклинъ рекомендовалъ конецъ шеста дѣлать иглообразно. Нынѣ допускаютъ шесты заостренные лишь на самой оконечности, считая ихъ по отношенію къ облаку, вообще значительно отстоящему отъ громоотвода, равносильными съ оканчивающимися иглою.

§ 335. Электричество облаков и собственно атмосферное электричество. Грозное облако представляет собою отдельный наэлектризованный проводник находящийся въ воздухѣ. Но и независимо отъ присутствія облаковъ, въ воздухѣ обнаруживаются признаки наэлектризованнаго состоянія. Чтобы обнаружить это собственно *атмосферное электричество*, происхождение котораго не довольно еще разъяснено, но въ которомъ можно полагать главный источникъ всѣхъ электрическихъ явленій въ атмосферѣ,—достаточно снабдить электроскопъ небольшимъ заостреннымъ шестомъ и поднять на нѣсколько футовъ снизу вверхъ. Электроскопъ обнаружитъ признаки электричества, какъ еслибы мы приблизились къ наэлектризованному тѣлу. Изученіе явленій атмосфернаго электричества, привело къ слѣдующему, весьма вѣроятному представлению. Верхніе рѣдкіе слои воздуха, вслѣдствіе разрѣженности своей не представляющие сопротивленія передвиженію электричества, играютъ роль проводника и суть какъ бы внѣшняя проводящая обкладка, облекающая землю и наэлектризованная положительнымъ электричествомъ. Сама земля есть тѣло наэлектризованное отрицательно; нижніе слои воздуха, какъ изоляторъ, раздѣляютъ двѣ эти наэлектризованныя обкладки, подобно стеклу въ лейденской банкѣ. Когда водяной паръ, распространенный на болѣе или менѣе значительномъ протяженіи въ атмосферѣ, сгущивается, образуя облакъ, то облакъ это можетъ представить собою наэлектризованный проводникъ, способный, какъ проводникъ вообще, заразъ отдать свое электричество стремительнымъ разрядомъ. Въ полярныхъ странахъ соединеніе электричества атмосферы съ электричествомъ земли порождаетъ явленія именуемыя *полярными сіяніями* (сверхъ нами въ нашемъ полушаріи).

§ 336. Распределение электричества на поверхности проводниковъ. Возьмемъ (фиг. 471) пустой внутри металлическій шаръ и помѣстимъ его на хорошо изолирующей подставкѣ, накрывъ верхнее отверстіе металлическимъ дискомъ *AB* на стеклянной рукояткѣ *C* имѣющей внизу тонкій загнутый стержень изъ непроводника (напримѣръ изъ шеллака), оканчивающійся металлическимъ шарикомъ *D*. Наэлектризуемъ такой шаръ, представляющій собою замкнутый металлическій проводникъ. Не трудно доказать что въ наэлектризованномъ



Фиг. 471.

состояніи находится только внѣшняя его поверхность тогда какъ внутренняя не обнаруживаетъ признаковъ электричества. Для этого достаточно, подвинувъ дискъ немного въ сторону, коснуться шарикомъ *D* внутренней стѣнки сферы и потомъ, осторожно поднимая дискъ, унести этотъ шарикъ изъ внутренности шара, не касаясь краевъ отверстія. Шарикъ поднесенный къ электроскопу не обнаружитъ признака электричества (электричество унесенное самимъ дискомъ должно удалить, коснувшись его пальцемъ во время переноса). Но если затѣмъ прикоснуться шарикомъ ко внѣшней поверхности шара, то шарикъ наэлектризуется и окажетъ дѣйствіе на электроскопъ.

Фарадей сдѣлалъ изъ легкой деревянной рамки кубъ, коего каждая сторона была въ 12 футовъ, обложивъ его вдоль и поперекъ мѣдной проволокой, такъ что стороны его представляли собою какъ бы большія стѣны; затѣмъ оклеилъ бумагой и обложилъ фольговыми полосками такъ что все было въ металлическомъ сообщеніи, и кубъ представлялъ собою одинъ проводникъ. Такую комнату поставилъ изолированно въ аудиторіи Королевскаго Института... Вошелъ внутрь (сильно наэлектризовавъ кубъ и остался тамъ съ зажженными свѣчами, электрометрами и другими снарядами для обнаруженія электричества, но не замѣтилъ ни малѣйшаго на нихъ дѣйствія. Они не дали никакого показанія, хотя во все время внѣшняя сторона куба была сильно наэлектризована и давала искры и впусти свѣта. Въ описанныхъ опытахъ проводникъ представлялъ собою со всѣхъ сторонъ замкнутую полость. Но и въ открытомъ, напримѣръ, сосудообразномъ проводникѣ состояніе наэлектризованія замѣчается лишь на внѣшней поверхности, не обнаруживаясь при стѣнкахъ углубленной полости. Такъ опытъ съ шаромъ можно сдѣлать (фиг. 472) помощью изолирующей рукоятки, съ шарикомъ или кружечкомъ, не снабженной дискомъ, прикрывающимъ отверстіе какъ въ опытѣ изображенномъ на фиг. 472. (Такой кружокъ на рукояткѣ именуется *испытательнымъ кружкомъ*. Когда онъ касается поверхности тѣла, то какъ бы составляетъ часть этой поверхности, а отдѣленный отъ нея, уноситъ расположившееся на немъ электричество. Количество этого электричества свидѣтельствуетъ о степени его скопленія въ

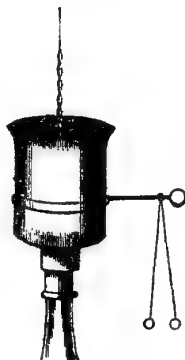


Фиг. 472.

томъ мѣстѣ гдѣ касался вѣртокъ). Кулоубъ бралъ деревянный цилиндръ дюймовъ четырехъ въ діаметрѣ и дѣлалъ на немъ нѣсколько ямочекъ, около четырехъ линій въ діаметрѣ. Цилиндръ былъ изолированъ и наэлектризованъ. Кулоубъ касался его въ разныхъ точкахъ маленькимъ вѣркомъ (въ $1\frac{1}{2}$ линій въ діаметрѣ) изъ золотой бумаги, укрѣпленнымъ на стержнѣ изъ шеллака. Вѣртокъ обнаруживалъ электричество, когда касался вѣршной поверхности, но не давалъ признака электричества когда касался дна углубленій. Кулоубъ бралъ также металлическій шаръ, облевалъ его оболочкой изъ двухъ металлическихъ полушарій на изолирующихъ ручкахъ. Когда снарядъ былъ наэлектризованъ и, затѣмъ полушарія быстро сняты, они уносили электричество, и внутренній шаръ оказывался не наэлектризованнымъ.

Проводниками съ большими поверхностями пользовались нѣкоторые испытатели для того чтобы получать сильное электрическое дѣйствіе. Такъ, еще до изобрѣтенія лейденской банки, отецъ Гордонъ (профессоръ въ Эрфуртѣ, въ сороковыхъ годахъ прошлаго вѣка) помощію разряда наэлектризованнаго кондуктора изъ сотни метровъ желѣзной проволоки убивалъ птицъ. Вольта устроилъ на томъ же принципѣ проводникъ дававшій сотрясеніе какъ лейденская банка (1779). „Доказано, говорить онъ, и принято всѣми физиками что электрическая емкость (количество электричества принимаго отъ даннаго источника) проводниковъ опредѣляется не массою ихъ, а объемомъ или поверхностью. Любопытный опытъ доктора Франклина *) и

*) Франклинъ замѣтилъ что шарики электроскопа (фиг. 473), соединеннаго съ наэлектризованнымъ металлическимъ сосудомъ, теряютъ постепенно расходимость, по мѣрѣ того какъ помощію шелковинки поднималась и развивалась цѣпь сложенная на днѣ сосуда. Когда цѣпь значительною частію находится внѣ сосуда, электричество распределяется отчасти на сосудъ, отчасти на цѣпь. Когда цѣпь вновь опускается на дно, электричество съ нея устремляется на поверхность сосуда и расходимость шариковъ электроскопа увеличивается. Опытъ съ „электрическою бадьею“, то-есть цилиндромъ изъ золоченой бумаги на шелковой нити, опускаемымъ въ изолированный наэлектризованный сосудъ (колодезь), Вольта описываетъ такъ: „Касаясь бадьею вѣршей поверхности колодезя, извлекаемъ искру... но если опустить наэлектризованную такимъ образомъ бадью до дна колодезя, то она утрачиваетъ свое электричество: вытянувъ ее, не найдемъ на ней малѣйшаго признака электричества.“



Фиг. 473.

опыты съ „электрическимъ колодеземъ“... ясно показываютъ что электричество располагается на вѣршей поверхности проводниковъ. Потому съ цѣлью соединить емкость съ удобствомъ, мы даемъ кондукторамъ нашихъ снарядовъ форму цилиндровъ или пустыхъ мѣдныхъ сферъ, такъ какъ не было бы выгоды дѣлать ихъ массивными; употребляемъ также широкія трубки изъ жести и даже картона, покрытаго тонкими металлическими листами или золоченою бумагой. Вообще стараемся имѣть кондукторы большаго объема или поверхности, какой угодно формы, только чтобы не было острій или угловъ... Но никто, сколько знаю, не замѣтилъ что изъ двухъ кондукторовъ равной поверхности, тотъ который длиннѣе имѣетъ большую емкость чѣмъ тотъ который толще...“ Руководствуясь этими началами, Вольта бралъ двѣнадцать деревянныхъ палокъ 8 футовъ длиною и 6 линій въ діаметрѣ, посеребренныхъ съ поверхности; вѣшалъ ихъ однѣ надъ другими на шелковыхъ шнурахъ, перекинувъ съ одной на другую проволочные проводники, такъ что вся система представляла какъ бы одинъ проводникъ въ 96 футовъ длиною. Такой проводникъ, будучи наэлектризованъ, давалъ при приближеніи пальца искру, сопровождавшуюся значительнымъ сотрясеніемъ „похожимъ на то какое испытываемъ, если коснуться шарика заряженной лейденской банки, поставленной на полу не совершенно сухою. Но это еще далеко отъ сильнаго сотрясенія, испытываемаго когда коснемся одною рукою шарика банки, а другою ея вѣршей обкладки.“ Но „хотите ли спрашиваетъ Вольта, отъ моего кондуктора получить ударъ той же силы? Коснитесь его одною рукою, между тѣмъ какъ другою коснетесь желѣзной проволоки, отведенной въ колодезь или сырую землю, или, наконецъ, сильно смочите полъ комнаты.“

§ 337. Теорія электрическихъ жидкостей. Распределение электричества на поверхности проводника есть прямое теоретическое слѣдствіе гипотезы электрическихъ жидкостей, которая и нынѣ полагается въ основаніе объясненія электрическихъ явленій, хотя физическое существованіе электрическихъ жидкостей признается сомнительнымъ. Укажемъ главныя черты этой теоріи словами знаменитаго французскаго математика Пуассона, давшаго (1811) на основаніи ея математическое разрѣшеніе вопроса о распределеніи электричества на проводникахъ и повѣрившаго свои выводы сравненіемъ съ опытами Кулоуба. „Общепринятая теорія электричества приписываетъ явленія двумъ различнымъ жидкостямъ, распространеннымъ во всѣхъ тѣлахъ природы. Предполагается что частицы той же жидкости взаимно отталкиваются и притягиваютъ частицы другой; эти силы притяженія и отталкиванія дѣйствуютъ въ обратномъ отношеніи квадратовъ разстояній; при томъ же разстояніи притягательная сила равна отталкивательной, откуда слѣдуетъ что, когда всѣ части тѣла заключаютъ равное количество той и другой жидкости.

жидкости эти не оказывают никакого действия на жидкости содержащиеся въ окружающихъ тѣлахъ, и следовательно не обнаруживается никакого признака электричества. Это ровное и однообразное распределение двухъ жидкостей есть то что называется ихъ естественнымъ состояніемъ; какъ скоро состояніе это нарушено какою-либо причиною, тѣло въ которомъ это случается *наэлектризовано*, и начинаютъ обнаруживаться различныя явленія электричества. Тѣла природы оказываются не одинаковыми по отношенію къ электрической жидкости: одни, какъ металлы, позволяютъ ей свободно двигаться внутри ихъ и проходить во всѣхъ направленіяхъ; ихъ называютъ потому проводниками *). Другія, какъ напримѣръ, сухой воздухъ, противопоставляютъ препятствіе движению электричества внутри ихъ, такъ что они служатъ къ тому чтобы не дать жидкости, собранной въ проводникахъ, разсѣяться въ пространствѣ...

„Представимъ себѣ металлическое тѣло, какой-нибудь формы, окруженное со всѣхъ сторонъ сухимъ воздухомъ, и допустимъ что мы ввели въ него данное количество одной изъ жидкостей. Въслѣдствіе отталкивательной силы ея частицъ и такъ какъ металл не представляетъ никакого препятствія ея движению, легко понять что введенная жидкость перенесется на поверхность тѣла, гдѣ будетъ удержана окружающимъ воздухомъ... Вся жидкость расположится при поверхности и образуетъ слой чрезвычайно тонкій, проникающій нѣсколько ниже этой поверхности и котораго толщина въ каждой точкѣ зависитъ отъ формы тѣла. Этотъ слой извѣстъ ограниченъ самою поверхностью тѣла, внутри другою поверхностью очень мало отличною отъ первой. Онъ долженъ принять фигуру соответствующую равновѣсію отталкивательныхъ силъ частицъ его составляющихъ... Кромѣ того онъ не долженъ оказывать ни притяженія ни отталкиванія на какую-либо точку произвольно взятую внутри тѣла, ибо если это условіе не будетъ выполнено, дѣйствіе электрическаго слоя на внутреннія точки разложитъ новое количество естественнаго электричества тѣла, и его электрическое состояніе измѣнится... Давленіе которое жидкость оказываетъ на воздухъ ея удерживающій прямо пропорціонально отталкивательной силѣ и толщинѣ слоя; а такъ какъ одинъ изъ этихъ элементовъ пропорционаленъ другому, то отсюда слѣдуетъ что давленіе измѣняется на поверхности наэлектризованнаго тѣла пропорціонально квадрату толщины или количества электричества собраннаго въ каждой точкѣ этой поверхности. Воздухъ непроницаемый для электричества можно разсматривать

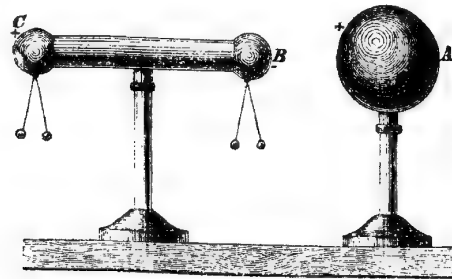
* Въ строгомъ смыслѣ и проводники представляютъ большее или меньшее *сопротивленіе* движению электричества, но сопротивленіе это несравненно менѣе чѣмъ сопротивленіе дурно проводящихъ тѣлъ.

какъ сосудъ, котораго форма опредѣляется формою наэлектризованнаго тѣла; жидкость содержащаяся въ этомъ сосудѣ оказываетъ на его стѣнки давленія, различныя въ разныхъ точкахъ, такъ что давленіе въ нѣкоторыхъ точкахъ иногда бываетъ очень велико сравнительно съ испытываемымъ другими. Въ мѣстахъ гдѣ давленіе жидкости превосходитъ сопротивленіе противопоставляемое воздухомъ—воздухъ уступаетъ; сосудъ такъ-сказать прорывается, и жидкость истекаетъ какъ изъ отверстія. Такъ бываетъ на острияхъ и острыхъ краяхъ угловатыхъ тѣлъ, ибо можно доказать что при вершинѣ конуса, напримѣръ, давленіе электрической жидкости слѣдало бы безконечнымъ, еслибъ электричество могло тамъ скопиться. На поверхности удлинннаго эллипсоида, давленіе не равно безконечности ни въ какой точкѣ, но оно будетъ тѣмъ значительнѣе при двухъ его полюсахъ, чѣмъ болѣе будетъ соединяющая ихъ ось по отношенію къ діаметру экватора... Вообще неопредѣленное возрастаніе электрическаго давленія въ нѣкоторыхъ точкахъ наэлектризованныхъ тѣлъ представляетъ естественное и точное объясненіе способности остриевъ разсѣлать въ непроницающій воздухъ электрическую жидкость, каковой они заряжены“.

Замѣтимъ, что взаимное отталкиваніе частицъ электрической жидкости не должно уподоблять взаимному отталкиванію частицъ какой-нибудь упругой среды, напримѣръ, воздуха. Газъ равномерно распространяется въ пространствѣ которе наполняется, не скопляясь при ограничивающихъ его стѣнкахъ. Между частицами газа взаимное отталкиваніе происходитъ лишь на разстояніяхъ чрезвычайно близкихъ, слѣдовательно лишь между сосѣдними частицами, отталкиваніе же частицъ электричества обнаруживается и между отдаленными частицами.

Если принимать что электрическая жидкость удерживается на поверхности проводника сопротивленіемъ окружающаго воздуха, то можно думать что въ безвоздушномъ пространствѣ она должна разсѣваться. Дѣйствительно, электричество легко распространяется въ разрѣженныхъ газахъ, причемъ если напряжение электричества достаточно сильно, разрядъ сопровождается явленіемъ свѣта. Но съ другой стороны, есть опыты доказывающіе что слабыя электрическія напряжения сохраняются въ разрѣженномъ газѣ болѣе значительное время чѣмъ въ газѣ обыкновенной плотности явленія находящіяся, повидимому, въ связи съ существованіемъ на поверхности тѣла тонкаго слоя прилипаго и сгущеннаго газа). Наконецъ есть опыты свидѣтельствующіе что если газъ доведенъ до состоянія крайней разрѣженности какая достижима въ нашихъ опытахъ, то онъ представляетъ вновь значительное сопротивленіе распространенію электричества, откуда должно заключить что абсолютная пустота есть непроницаемый электричества.

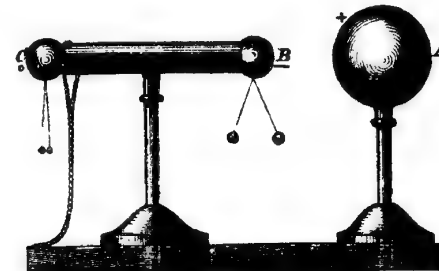
§ 338. Наэлектризование через влияние. Наэлектризование через влияние есть основное начало в рассматриваемой нами области явлений, большинство которых в нем находят свое объяснение. Наэлектризование через влияние состоит в том, что изолированный проводник, приближенный к наэлектризованному телу сам электризуется и притом полярно, т.-е. на конец ближайший к наэлектризованному телу электричеством противоположным с электричеством этого тела, и электричеством одноименным на удаленном конце. Таким образом если к наэлектризованному положительно шару *A* (фиг. 474) приблизить изолированный проводник *CB*, с висящими на нем бузиновыми шариками на льняных нитях, то шарики разойдутся, наэлектризовавшись—находящиеся при конце *B* отрицательным, при конце *C* одноименным с *A*, положитель-



Фиг. 474.

ным электричеством. (В этом можно убедиться, поднося к шарикам тело наэлектризованное известным электричеством и наблюдая какие из них притягиваются и какие отталкиваются). Если

Если удалить шар *A*, то разложенные электричества соединяются, и кондуктор возвращается в естественное состояние *). Если положить на кондуктор палец, как на фиг. 475, или прикоснуться пальцем, вообще каким-либо способом привести его в сообщение с землею, то отталкиваемое одноименное электричество уйдет в землю; шарики при конце *C* сблизятся, тогда как расходимость находящихся при *B* увеличится. При этом в каком бы месте кондуктора *CB* мы ни произвели сообщение с землею, даже если при конце *B*,



Фиг. 475.

во всяком случае в землю уйдет отталкиваемое одноименное электричество, разноименное же, удерживаемое притяжением электричества тела *A*, остается при конце *B*, несмотря на сообщение кондуктора с землею. Это выражают, говоря что электричество при конце *B* находится в связанном состоянии. Проводник и землю в этом случае можно рассматривать как одну проводящую массу; оттолкнутое электричество, располагаясь на этом огромном проводнике, становится не заметно.

Если, приведя кондуктор в сообщение с землею и через то уведя оттолкнутое электричество, прервать

*) Предполагаем кондуктор хорошо изолированным так что отталкиваемое электричество не теряется. Прибавим что берлинский профессор Рихс в своем снаряде, назначен-

затѣмъ это сообщеніе и одновременно удалить кондукторъ отъ шара *A* или шаръ отъ кондуктора (или увести съ шара его электричество), то собранное при концѣ *B* разноименное электричество распространится по всему кондуктору; шарики при *C* вновь разойдутся, расхожимость же находящихся при *B* нѣсколько уменьшится. Поднося къ шарикамъ тѣло наэлектризованное извѣстнымъ электричествомъ, убѣдимся что весь кондукторъ заряженъ одинакимъ электричествомъ, — отрицательнымъ въ нашемъ примѣрѣ. Такимъ образомъ чтобы наэлектризовать проводникъ чрезъ вліяніе, его должно поднести къ наэлектризованному тѣлу, коснуться пальцемъ или иначе какъ-либо привести въ сообщеніе съ землею, и удалить, прерывая это сообщеніе. Проводникъ наэлектризуется электричествомъ противоположнымъ съ электричествомъ тѣла.

Метода наблюденія электрическихъ явленій помощію бузиновыхъ шариковъ на нитяхъ, введенная Кантономъ, дала этому ученому возможность произвести рядъ разнообразныхъ опытовъ (1753), объясняющихся изъ началъ электрическаго вліянія, самимъ Кантономъ, впрочемъ, не указанного. Первый и простѣйшій изъ его опытовъ состоялъ въ томъ что, повѣсивъ пару пробочныхъ или бузиновыхъ шариковъ на льняныхъ (проводящихъ) нитяхъ, онъ подносилъ къ нимъ натертую стеклянную трубку. Шарики тотчасъ расходились между собою и опять сближались когда трубка была удалена *); опыты сви-

номъ для показанія основныхъ явленій вліянія, предпочитаетъ ставить кондукторъ вертикально надъ наэлектризованнымъ шаромъ, помѣщая при верхнемъ и нижнемъ концѣ по бузиновому шару. При наэлектризованіи шарики отталкиваются кондукторомъ, котораго они касаются когда нѣтъ дѣйствія.

*) Когда шарики были повѣшены на шелковинкахъ, то чтобы заставить ихъ разойтись надо было приблизить трубку значительно ближе; но они оставались взаимно отталкиваемыми некоторое время и по удаленіи трубки. Кантонъ замѣтилъ также что если шарики повѣшены на непроводникѣ, наэлектризованы, напримѣръ, положительнымъ электричествомъ и разошлись отъ взаимнаго отталкиванія, — то при приближеніи стеклянной натертой трубки они сближаются между собою, доходя до прикосновенія и вновь удаляются. Вообще объ опытахъ Кантона Пристлей въ своей *Исторіи электричества* отзывается какъ о „представляющихъ такое разнообразіе притя-

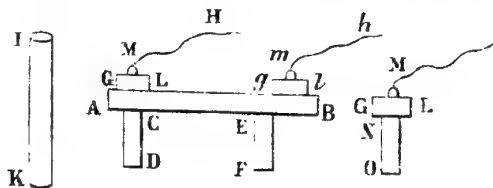
дѣтельствующій что шарики временно электризуются отъ вліянія приближенной трубки. Шведскій ученый Вильке (1757) показалъ что электричество временно возбуждаемое такимъ образомъ всегда *противоположно* тому которое производитъ дѣйствіе и выразилъ общее основное начало, сводящее явленія „къ такимъ простымъ правиламъ и такой гармоніи, къ какимъ ученые давно стремились.“ Общее начало это выражено Вильке слѣдующимъ образомъ: „части тѣла погруженнаго въ атмосферу *) *положительно* наэлектризованнаго тѣла электризуются *отрицательно*. Они электризуются *положительно* въ отрицательной атмосферѣ.“ Разсматривая явленія съ точки зрѣнія Франклиновой теоріи одной жидкости, Вильке объясняетъ черное состояніе тѣмъ что „положительная атмосфера гонитъ естественное электричество изъ частей (приблизеннаго проводника). Онѣ становятся отрицательно наэлектризованными если (электрическая) матерія можетъ утекать, но не можетъ устремиться обратно. Положительное состояніе въ отрицательной атмосферѣ происходитъ когда электричество собирается въ этихъ частяхъ, стремясь перейти къ отрицательному, а затѣмъ чрезъ пресѣченіе канала назадъ вернуться не можетъ.“ Вильке указываетъ опыты выведенный имъ „a priori“ изъ этихъ наблюденій съ цѣлью повѣрить ихъ справедливость.“ Возьмемъ, говоритъ онъ, кондукторъ изъ двухъ частей *A* и *B*, которыя можно по произволу сбить до прикосновенія или удалить одну отъ другой. Приведемъ ихъ въ прикосновеніе и приблизимъ стеклянную трубку къ части *A*. Какъ скоро это случится, уведемъ часть *B* не касаясь ея какимъ-либо проводникомъ. Найдемъ что *A* наэлектризована отрицательно, *B* — *положительно* **). Что дѣйствіе чрезъ вліяніе есть *полярное*, и появленіе противоположнаго электриче-

женій и отталкиваній что ихъ можно считать чудесными.“ Кантонъ бралъ также изолированные проводники (иногда деревянными складными линейки на рюмочкахъ), вѣшалъ на концахъ ихъ шарики на нитяхъ, ставилъ ихъ одинъ за другимъ и заставлялъ шарики расходиться, дѣйствуя чрезъ вліяніе.

*) Вильке говоритъ объ „атмосферѣ“ электричества согласно господствовавшимъ тогда воззрѣніямъ. Разсмотрѣніе электрическихъ дѣйствій какъ *дѣйствій на разстояніи* введено, какъ мы уже видѣли, Эпинусомъ.

**) Упомянемъ еще о двухъ опытахъ Вильке. Поднося острие къ небольшому изолированному проводнику, приближенному къ наэлектризованному тѣлу и затѣмъ удаляя острие и тѣло, Вильке находилъ проводникъ наэлектризованнымъ электричествомъ противоположнымъ съ электричествомъ тѣла. Онъ ставилъ далѣе два проводника на изолирующихъ подставкахъ, одинъ за другимъ, и подносилъ къ концу перваго натертую трубку. Пробовый шарикъ на шелковинѣ висѣвшій между проводниками тотчасъ приходилъ въ качаніе, прикасаясь то къ

ства на частях проводника ближайших къ наэлектризованному тѣлу сопровождается появленіемъ одноименнаго на отдаленныхъ, — съ полною ясностію представилъ Эппиусъ, который



Фиг. 476.

далъ (1759) опыту, доказывающему основное положеніе ученія о вліяніи, слѣдующую форму. На стеклянныхъ подставкахъ кладется металлическая полоса *AB*, около фута длиною, на концѣ *A* кладется металлическая гирька *GL* около полтора пальца длиною съ колючкомъ вверху, къ которому привязывается шелковая нить *MN*. Приближаютъ стеклянную наэлектризованную трубку *IK* на разстояніе пальца отъ конца *A* и держатъ въ этомъ положеніи. Затѣмъ гирька *GL* подымается помощью шелковой нити и переносится на стеклянную подставку *NO*. Гирька оказываетъ наэлектризованной и притомъ отрицательнымъ электричествомъ (противуположнымъ съ электричествомъ трубки). Повторивъ тотъ же опытъ, но помѣщая гирьку не при концѣ *A*, а при концѣ *B* въ положеніи *lg*, находятъ что она наэлектризована положительно, т.-е. одноименнымъ электричествомъ. Замѣнивъ стеклянную трубку сѣрной или смоляной, найдемъ что гирька въ ближайшемъ концѣ наэлектризуется положительно, въ отдаленномъ отрицательно.

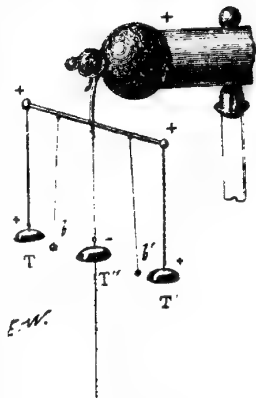
§ 339. Различныя явленія объясняющіяся дѣйствіемъ электричества чрезъ вліяніе. 1) *Притяженіе легкихъ тѣлъ*. Когда къ наэлектризованному тѣлу подносятъ легкий проводникъ, напримѣръ, бузинный шарикъ на нити, то, какъ уже знаетъ, обнаруживается притяженіе, особенно замѣтное если проводникъ не изолированъ: шарикъ повѣшенъ, напримѣръ, на льняной нити. Шарикъ на сухой шелковинѣ притягивается значительно слабѣе. Какъ въ томъ такъ и въ дру-

гному то къ другому. Если трубка оставалась на неизмѣнномъ разстояніи движеніе шарика мало по малу прекращалось. Оно возобновлялось на нѣкоторое время когда трубка удалялась.

гомъ случаѣ происходитъ въ шарикѣ разложеніе электричества чрезъ вліяніе; но когда шарикъ на шелковинѣ, оба электричества остаются въ немъ, разноименное въ ближайшихъ, одноименное въ отдаленныхъ его частяхъ по отношенію къ наэлектризованному тѣлу: притяженіе почти парализуется отталкиваніемъ. Но если шарикъ на проводящей нити, то отталкиваемое одноименное электричество уходитъ въ землю, и притяженіе разноименнаго обнаруживается во всей силѣ.

Замѣтимъ что притяженія и отталкиванія, согласно теоріи, испытываются частицами электричества. Между тѣмъ въ явленіяхъ мы наблюдаемъ передвиженія самихъ наэлектризованныхъ тѣлъ. Въ случаѣ непроводниковъ частицы электричества удерживаются частицами тѣла и не имѣютъ свободного движенія внутри его, а слѣдовательно и не могутъ двигаться иначе какъ увлекаая съ собою частицы тѣла. Въ случаѣ проводника электрическія частицы *внутри тѣла* могутъ перемѣщаться свободно, но распредѣлившись при поверхности, удерживаются окружающею непроводящею средою (воздухомъ; проводникъ какъ бы облеченъ непроницаемою оболочкой или скорлупой, благодаря которой электрическія частицы, будучи притягиваемы или отталкиваемы, не могутъ перемѣститься иначе какъ увлекаая съ собою самый проводникъ.

Любопытный примѣръ движеній отъ электрическаго вліянія представляетъ снарядъ Франклина съ электрическимъ звономъ. Снарядъ этотъ служилъ Франклину для того чтобы возмѣщать приближеніе грозового облака. Повѣсимъ на кондукторъ машины (фиг. 477) три колокольчика, крайніе на двѣпочкахъ, средній на шелковинѣ. Отъ средняго проведемъ двѣпочку къ землѣ. Между имъ и крайними повѣсимъ металлические шары на шелковинкахъ. Какъ скоро въ снарядъ будетъ проходить электричество, оно вступитъ въ крайніе колокольчики; въ среднемъ произойдетъ разложеніе чрезъ вліяніе, и онъ наэлектризуется противоположно съ крайними. Металлическіе шары придутъ въ движеніе и, ударя въ колокольчики, произведутъ звонъ. Движеніе шариковъ происходитъ оттого что, коснувшись одного изъ колоколь-



Фиг. 477.

и, ударя въ колокольчики, произведутъ звонъ. Движеніе шариковъ происходитъ оттого что, коснувшись одного изъ колоколь-

чиковъ между, которыми виситъ, шарикъ, пріобрѣтеть отъ него электричество; отталкивается и, будучи притянутъ противоположно наэлектризованнымъ другимъ колокольчикомъ, съ силою устремляется къ нему; отдаетъ свое электричество, причемъ происходитъ искра, вновь электризуется, отталкивается и т. д.

2) *Электрический разрядъ въ формѣ искры, кисти или сіянія.* Приближая проводникъ постепенно къ наэлектризованному тѣлу, не трудно замѣтить что когда онъ достигаетъ извѣстной близости, между ними высккиваетъ искра и наэлектризованное тѣло теряетъ часть электричества. Разстояніе это зависитъ отъ степени наэлектризованія тѣла *) и отъ качествъ среды раздѣляющей тѣла, между которыми обнаруживается искра. Явленіе происходитъ отъ того что, при извѣстной степени близости, взаимное притяженіе разноименныхъ электричествъ становится столь значительнымъ что раздѣляющій ихъ слой воздуха или иного проводника не можетъ удержать скопившихся электричествъ, и они соединяются. Происходитъ *электрический разрядъ*, сопровождающійся искрою. Искра сравнительно незначительна если наэлектризованное тѣло непроводникъ, ибо въ такомъ случаѣ электричество отнимается лишь отъ ближайшихъ къ проводнику частицъ, не притекая отъ остальныхъ. Если приближаемый проводникъ оканчивается остриемъ, то возбуждаемое чрезъ вліяніе электричество уже, на сравнительно значительномъ разстояніи, пріобрѣтаетъ на остріѣ сильное напряженіе; частицы воздуха или иной изолирующей среды, окружающей остріе, электризуются, и происходитъ постепенный разрядъ, не столь стремительный какъ искра, обнаруживающійся въ темнотѣ сіяніемъ или кистію свѣта.

Искра, если она коротка, имѣетъ видъ прямолинейной полоски съ свѣтлымъ ореоломъ вокругъ; болѣе

*) Если тѣло это само проводникъ, то это разстояніе или *длина искры* пропорціонально толщинѣ электрическаго слоя въ томъ мѣстѣ гдѣ искра извлекается.

длинныя искры имѣютъ видъ зигзага подобно молніи. Искра, какъ показываетъ спектральный анализъ, есть совокупность раскаленныхъ частицъ тѣлъ, между которыми извлекается и раскаленныхъ частицы среды въ которой образуется.

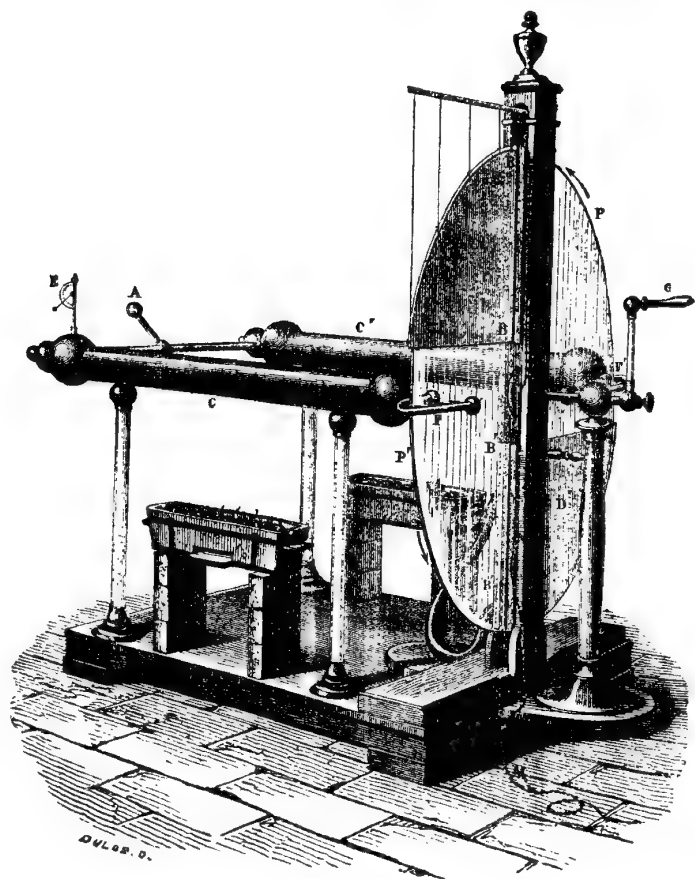
Въ разряженномъ пространствѣ, гдѣ сопротивленіе значительно меньше чѣмъ въ средѣ нормальной плотности, длина разряда значительно увеличивается, и искра превращается въ широкія мерцающія полосы свѣта, качества которыхъ зависятъ отъ качествъ разряженной среды *).

Въ указанныхъ здѣсь случаяхъ разрядъ происходитъ между наэлектризованнымъ тѣломъ и приближаемымъ проводникомъ. Но снабженное остриемъ наэлектризованное тѣло, если оно есть проводникъ поддерживаемый изоляторомъ, разряжается безъ приближенія сторонняго проводника. Электричество какъ говорится *стекаетъ* чрезъ остріе. Но и въ этомъ случаѣ, какъ и во всѣхъ другихъ, разрядъ обусловливается соединеніемъ двухъ электричествъ и дѣйствіемъ чрезъ вліяніе на частицы окружающей среды и ограничивающія ее тѣла.

3) *Сообщеніе электричества на разстояніи.* Притѣръ такого сообщенія имѣемъ въ обыкновенной *элек-*

*) Мы упоминали уже о томъ что наэлектризованное тѣло находящееся въ воздухѣ постепенно теряетъ электричество уносимое воздушными прикасающимися частицами. Такое *разсыпаніе* или невидимый разрядъ электричества, — происходящее медленно, свидѣтельствуя о дурной проводимости воздуха, — значительно въ густомъ чѣмъ въ разряженномъ воздухѣ. Но разрядъ прерывистый, сопровождающійся свѣтомъ устанавливается въ воздухѣ значительно легче чѣмъ напримѣръ въ водѣ, и тѣмъ легче чѣмъ воздухъ рѣже. Количество электричества даннаго напряженія, которое въ пространствѣ наполненномъ воздухомъ обыкновенной плотности испытываетъ только разсыпаніе, при разряженіи воздуха принимаетъ другую форму разряда: изъ невидимаго и постепеннаго онъ преобразуется въ прерывистый и сопровождающійся свѣтомъ ученіе Риса).

трической машинъ. Кондукторъ машины (фиг. 477) не касается непосредственно стекляннаго круга натираемаго кожаными подушками покрытыми слоемъ ртути-

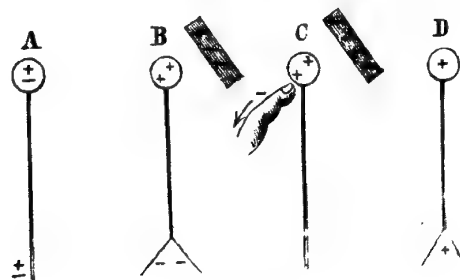


Фиг. 478.

ной амальгамы, а только приближенъ къ кругу обнимая его своими винтообразными вѣтвями, снабженными на внутренней сторонѣ остріями. Кругъ, элек-

тризуясь треніемъ, дѣйствуетъ чрезъ вліяніе на кондукторъ, разлагаетъ его электричество, притягивая разноименное и отталкивая одноименное. Разноименное чрезъ острія соединяется съ электричествомъ круга; одноименное скопляется на кондукторѣ до того предѣла когда въ кондукторѣ будетъ столько прибывать электричества сколько имъ теряется чрезъ воздухъ. Такимъ образомъ электричество доставляемое кондукторомъ не есть то самое которое возбуждается на стеклѣ, но происходитъ отъ разложенія собственного электричества кондуктора. Въ машинахъ первоначальнаго устройства какъ въ машинѣ Ноллетта (фиг. 457 и 462) роль остріемъ играли углы четвероугольныхъ кондукторовъ. Такъ какъ кондукторъ заряжается отталкиваемымъ электричествомъ, то электричество это того же знака какъ электричество самаго круга,—положительное въ случаѣ стекляннаго круга натираемаго амальгамою.

4) *Электризованіе электроскопа чрезъ вліяніе.* Приближая къ электроскопу наэлектризованное тѣло, замѣчаемъ что листочки начинаютъ расходиться значительно прежде прикосновенія тѣла къ шару электроскопа. Явленіе объясняется дѣйствіемъ чрезъ вліяніе. Такимъ образомъ, когда къ электроскопу, изображенному на фиг. 478 А, поднести тѣло наэлектри-



Фиг. 479.

зованное, напримѣръ, отрицательно, то естественное электричество электроскопа разлагается, какъ изображено на фиг. 478 В: положительное притягивается въ шарикъ, отрицательное угоняется въ листочки, которые и расходятся, отталкиваясь взаимно.

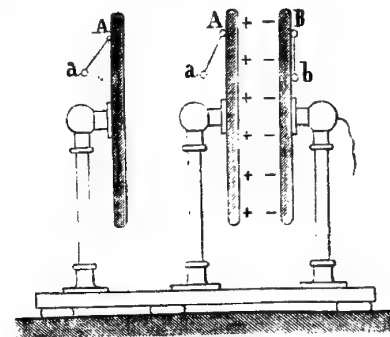
Если въ то время какъ электроскопъ находится подъ вліяніемъ приближеннаго тѣла, коснуться шарика его пальцемъ то, какъ изображено на фиг. 478 С, отрицательное электричество уйдетъ чрезъ палецъ въ землю; листочки сблизятся. Если затѣмъ удалить и палецъ и тѣло, то удерживавшееся на шарикѣ электроскопа положительное электричество распространится по стержню и листочкамъ: листочки разойдутся положительнымъ электричествомъ, т.-е. *разноименнымъ* съ электричествомъ тѣла. Этимъ отличается сообщеніе электричества электроскопу чрезъ вліяніе отъ сообщенія чрезъ прикосновеніе; въ послѣднемъ случаѣ листочки расходятся, получая электричество *одноименное* съ электричествомъ тѣла.

Если листочкамъ электроскопа сообщено определенное электричество, и они остаются разошедшимися, то электроскопомъ можно воспользоваться чтобы узнать какимъ электричествомъ наэлектризовано данное тѣло.

Если при приближеніи тѣла листочки расходятся еще болѣе, то это признакъ что тѣло наэлектризовано тѣмъ самымъ электричествомъ какое уже имѣютъ листочки (дѣйствительно, въ такомъ случаѣ электричество гонимое дѣйствіемъ чрезъ вліяніе въ листочки будетъ того же рода какъ присутствующее тамъ и увеличитъ ихъ взаимное отталкиваніе). Если, напротивъ, расходимость листочковъ уменьшится то это признакъ, что гонимое въ нихъ электричество разноименно съ присутствующимъ и его нейтрализуетъ. Таково слѣдовательно и электричество приближаемаго тѣла.

Послѣднее заключеніе не есть, впрочемъ, въ всякомъ случаѣ необходимо вѣрное, ибо и вовсе ненаэлектризованное тѣло, напримѣръ приближаемая рука, будучи поднесено къ электроскопу, уменьшаетъ расходимость листочковъ, такъ какъ само электричество электроскопа возбуждаетъ въ немъ разноименное электричество, которое въ свою очередь дѣйствуетъ на электроскопъ.

5) *Дѣйствіе проводника въ качествѣ конденсатора.* Возьмемъ металлическій дискъ А (фиг. 479) на изолирующей подставкѣ и сообщимъ ему электричество прикоснувшись, напримѣръ, шарикомъ заряженной



Фиг. 480.

лейденской банки. Дискъ приметъ отъ внутренней обкладки банки нѣкоторое количество *m* электричества (допустимъ положительнаго), определенное въ данныхъ условіяхъ опыта. Электричество это расположится какъ на передней такъ и на задней сторонѣ диска, и бузинный шарикъ *a*, отклонившись, покажетъ его напряженіе на задней сторонѣ.

Повторимъ тотъ же опытъ но съ тою разницею, что предварительно поставимъ на близкомъ разстояніи отъ диска А другой такой же дискъ В соединенный съ землею. Сообщимъ электричество отъ банки такъ чтобы шарикъ *a*, отклонившись, показалъ на задней сторонѣ приблизительно ту же степень заряда какъ въ предыдущемъ опытѣ. Удалимъ дискъ В; от-

клонение шарика *a* увеличится значительно, свидетельствуя что общее количество электричества принятого дискомъ въ второмъ опытѣ значительно больше принятого въ первомъ. Явленіе объясняется дѣйствіемъ чрезъ вліяніе.

Дѣйствительно, если, наэлектризовавъ дискъ *A* стоящій отдѣльно, приблизимъ его къ диску *B* соединенному съ землею, то въ дискъ *B* чрезъ вліяніе произойдетъ разложеніе электричества: одноименное (положительное въ нашемъ случаѣ) уйдетъ въ землю, отрицательное скопится на сторонѣ обращенной къ диску *A*. Отрицательное электричество диска *B*, въ свою очередь притягивая положительное диска *A*, переведетъ его на сторону обращенную къ *B*. Шарикъ *a* опустится, свидетельствуя что электричество съ задней стороны диска *A* перешло почти все на переднюю его сторону. Дискъ *A* можетъ принять новое количество электричества. Потому когда сообщеніе электричества диску *A* происходитъ въ сосѣдствѣ диска *B*, дискъ *A* можетъ принять значительно большее количество электричества чѣмъ въ случаѣ когда онъ былъ одинъ. Электрическая емкость диска значительно увеличилась. Снарядъ именуется *конденсаторомъ* (при чемъ дискъ *A* принимающій электричество называется *коллекторомъ*, дискъ *B* соединенный съ землею, собственно конденсаторомъ или сгустителемъ).

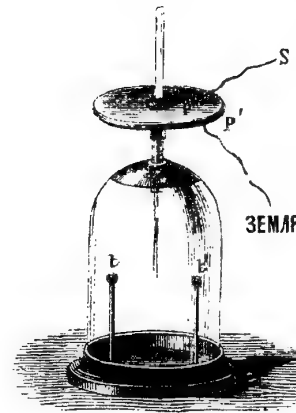
Въ разсматриваемомъ примѣрѣ диски *A* и *B* раздѣлены слоемъ воздуха. Явленія вліянія обнаруживаются и въ томъ случаѣ если между ними находится какое-либо иное непроводящее тѣло, напримѣръ слой стекла, смолы и т. под.

Присутствіе твердаго непроводящаго слоя между проводниками дѣйствующими чрезъ вліяніе, усложняетъ, впрочемъ явленіе, такъ какъ твердые непроводники также въ известной степени испытываютъ дѣйствіе вліянія. Въ слѣдствіе сего дѣйствіе наэлектризованнаго тѣла на проводникъ бываетъ не совсемъ одинаково, смотря по тому какой непроводникъ находится между ними (опыты Фарадея).

Увеличеніе способности проводника удерживать и принимать электричество, вслѣдствіе сосѣдства другаго проводника, было до-

казано италіанскимъ физикомъ Вольтою *), помощію любопытныхъ опытовъ, описанныхъ въ сочиненіи „Объ электрической емкости проводниковъ“, которые и привели его къ изобрѣтенію *конденсатора* (1783).

Въ качествѣ конденсатора, особенно удобнаго для опытовъ, Вольта употреблялъ два металлических диска покрытые лакомъ съ тѣхъ сторонъ, которыми они налагаются одинъ на



Фиг. 481.

другой. Лакъ игралъ роль непроводника раздѣляющаго диски. Электричество принятое однимъ изъ дисковъ испытывалось, по удаленіи другаго, помощію электроскопа (въ которомъ вмѣсто золотыхъ листочковъ Вольта употреблялъ обыкновенно соломенки,

*) Вольта, знаменитый изобрѣтатель Вольтова столба или гальванической батареи, родился въ Комо 1743 года, въ достаточномъ дворянскомъ семействѣ; получилъ серьезное образованіе (восемнадцать лѣтъ сочинилъ латинскую поэму и былъ въ перепискѣ съ Вольтеромъ). Электрическіе опыты рано привлекли его вниманіе; въ 1776 онъ изобрѣлъ электрофоръ, около того же времени открылъ воспламеняющійся болотный газъ а въ 1783 году изобрѣлъ конденсаторъ. Послѣ открытій Гальвани преданъ изученію новой отрасли явленій, наименованныхъ гальванизмомъ, открылъ электричество отъ прикосновенія, а въ 1800 изобрѣлъ свой столбъ, — изобрѣтеніе принадлежащее, по выраженію Араго, къ числу удивительнѣйшихъ, какія только сдѣлалъ человекъ, не исключая даже телескопа и паровой машины. Вольта умеръ въ 1827 году. Его триумфомъ было пребываніе въ Парижѣ въ 1801 году.

через что снаряд былъ менѣ чувствителенъ, но показанія давалъ болѣе правильныя, подлежащія измѣренію. Въ послѣдствіи, вмѣсто отдѣльнаго конденсатора, его стали навинчивать на электроскопъ. Фиг. 480 изображаетъ такой электроскопъ съ конденсаторомъ *).

Опишемъ первоначальныя опыты Вольта надъ сгущеніемъ электричества. „Какъ сдѣлать чтобы металлическій или иной проводникъ очень долго сохранялъ сообщенное ему электричество, хотя онъ не изолированъ или, точнѣе, очень дурно изолированъ. Скажу больше чтобы онъ сохранялъ электричество упорнѣе чѣмъ еслибы былъ наилучше изолированъ?“ Такова одна изъ задачъ или, какъ онъ называется „электрическихъ парадоксовъ“ каіе Вольта выставляетъ въ началѣ упомянутого выше трактата. „Объ электрической емкости сопряженныхъ проводниковъ“. „Я беру, отвѣчаетъ Вольта, металлическій дискъ съ закругленными краями, вѣшаю его на шелковыхъ шнурахъ или держу на стеклянной ручкѣ покрытой слоемъ сургуча,—такъ что онъ хорошо изолированъ. Сообщаю ему сильное электричество, затѣмъ приближаю къ свѣтъ, деревянной доскѣ, мраморному столу или иному подобному тѣлу, доводя до прикосновенія. Что же случается? Если тѣла эти не смочены и вообще не влажны, если дискъ приложенъ ровно всѣми частями, то нахожу что, по удаленіи, онъ даетъ еще сильную искру“. Такимъ образомъ электричество сохраняется въ дискѣ, несмотря на то что тѣла на которыя онъ положенъ проводятъ электричество (хотя и не въ такой степени какъ металлы). Еслибы „положить дискъ на тѣло совершенно изолирующее то онъ скоро бы потерялъ бы электричество, чѣмъ когда положенъ, напримѣръ, на мраморномъ столѣ... Электричество при этомъ сохраняется съ такимъ упорствомъ, что не уходитъ вполнѣ даже если неизолированный наблюдатель неоднократно тронетъ дискъ пальцемъ или дастъ нѣсколько ударовъ металлою... Я держалъ въ прикосновеніи съ дискомъ палецъ или металлическую полоску болѣе полуминуты и не могъ отнять всего электричества: его осталось довольно чтобы дать искру когда дискъ былъ поднятъ со стола“. Тѣло къ которому прикасается дискъ не должно, впрочемъ, быть хорошимъ проводникомъ. „Голыя металлическія поверхности, влажныя ткани, сырое дерево... не способны удерживать электричества, по крайней мѣрѣ въ продолженіе значительнаго времени; даже мраморъ оказывающій превосходное дѣйствіе когда сухъ, не годится если смоченъ или хотя потускнѣлъ. Когда я приводилъ наэлектри-

*) Въ качествѣ сгустителя Вольта употреблялъ иногда свою руку, одѣтую въ рукавицу изъ тѣста пропитанной изоляторомъ.

зованный дискъ въ прикосновеніе съ металлическою поверхностью, то какъ бы скоро не удалялъ его, онъ едва удерживалъ столько электричества чтобы притянуть легкую нить. Когда же прикасалъ его къ поверхности бокомъ или вообще такъ что онъ касался лишь въ немногихъ точкахъ, то не могъ замѣтить малѣйшаго остатка электричества“. Но если покрыть проводящее тѣло тонкимъ слоемъ непроводника, то оно окажетъ дѣйствіе. Вольта употреблялъ тонкій слой сургуча или иного смолистаго вещества, а также лака. Покрытые такимъ образомъ „маленькіе столики изъ дерева, картона, даже металла“ оказывали дѣйствіе, а также навощенное полотно и картина масляными красками.

Въ описанныхъ опытахъ тѣло на которое кладется дискъ служило къ тому чтобы сохранять электричество, сообщенное диску прежде чѣмъ онъ приведенъ въ прикосновеніе съ этимъ тѣломъ. Но станемъ электризовать дискъ въ то время когда онъ лежитъ уже на мраморномъ столѣ или иномъ изъ упомянутыхъ тѣлъ. „Намъ покажется что электричество проходитъ черезъ дискъ, не скопляясь или по крайней мѣрѣ оставаясь въ немъ въ незначительномъ количествѣ, ибо онъ не только не даетъ кистей свѣта но и не обнаруживаетъ замѣтной искры при прикосновеніи пальца. Можно подумать что дискъ вовсе не приобрѣлъ электричества или приобрѣлъ крайне мало. Но подымите дискъ и приблизьте палецъ и увидите что то что казалось едва тѣнью электричества обнаружитъ довольно силы чтобы дать искру въ палецъ длиною, а иногда даже самопоявляющуюся струю свѣта... Во время электризованія можно даже касаться пальцемъ диска и онъ тѣмъ не менѣ замѣтно наэлектризуется, если лежать на мраморномъ столѣ. „Всѣдствіе такой увеличившейся емкости по отношенію къ электричеству, дискъ... принимаетъ значительное количество электричества отъ источника очень слабой силы; когда коснемся его, напримѣръ, крючкомъ лейденской банки, очень слабо заряженной... Когда дискъ совершенно изолированъ, то чтобы его сильно наэлектризовать потребны или отличная электрическая машина или электрофоръ *), или сильно заряженная лейденская банка, или иное тѣло съ сильнымъ напряженіемъ электричества. Если коснемся его лейденскою банкою, дающею искру не болѣе какъ на двѣ. на три линіи разстоянія, то дискъ получитъ электричество развѣ что такой же силы и много если дастъ искру на разстояніи двухъ или трехъ линій. И вотъ я предлагаю вамъ средство, столь же простое и удобное, сколько удивительное и неожиданное, получить искры значительно болѣе сильныя. Для этого достаточно положить дискъ на какую-нибудь изъ плоскостей, о которыхъ я столько говорилъ, и прикоснуться крючкомъ банки слабо заряженной; увидимъ что она отдастъ знатную долю своего заряда; дискъ завладѣетъ огромнымъ количе-

*) Объ этомъ снарядѣ будетъ сказано въ слѣдующемъ параграфѣ.

своимъ электричества и удержать его, оказывая лишь слабое усиліе разрядиться, благодаря необычайной емкости какую ему дали, помѣстивъ его въ благопріятныя условія... Поднявъ дискъ и возвративъ чрезъ то его къ его естественной малой емкости, увидимъ что искра выскочитъ на нѣсколько дюймовъ."

Условіе при которомъ обнаруживается увеличеніе электрической емкости диска, какъ видно изъ описанныхъ опытовъ, состоитъ въ томъ, что между электризуемымъ дискомъ и проводникомъ, дѣйствующимъ въ качествѣ стустителя, лежитъ тонкій слой изолятора: слой лака или смолистаго вещества, если стуститель изъ металла, полотна, не довольно сухаго дерева; слой воздуха и верхній слой самого стустителя, если онъ изъ веществъ средней проводимости, какъ мраморъ, — представляющихъ значительное сопротивление движенію электричества, но чрезъ вліяніе достаточно сильно электризующихся.

Одно изъ первыхъ приложений конденсатора Вольта сдѣлалъ къ опредѣленію слабыхъ показаній атмосфернаго электричества. Онъ приводилъ свой конденсаторъ (металлическій дискъ, лежавшій на деревянной плоскости покрытой лакомъ или еще лучше на поверхности электрофора, смоляной слой котораго былъ очень тонокъ) съ проволокою проведенной отъ металлическаго шеста привлекавшаго атмосферное электричество; оставлялъ дискъ болѣе или менѣе значительное время въ сообщеніи съ шестомъ (иногда нѣсколько минутъ) и затѣмъ, приподнявъ, испытывалъ его электричество.

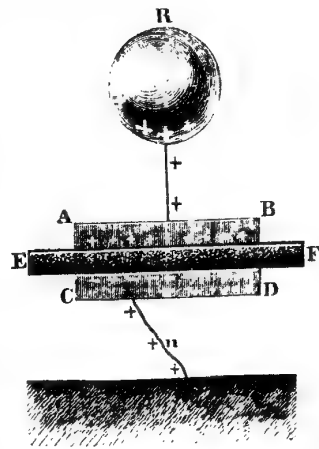
О приложеніи конденсатора къ обнаруженію электричества отъ прикосновенія разнородныхъ тѣлъ будемъ говорить ниже.

6) *Электризованіе лейденской банки.* Франклинъ доказалъ, какъ мы видѣли въ § 332, что внутренняя и внѣшняя обкладки заряженной лейденской банки наэлектризованы противоположными электричествами. Явленіе объясняется дѣйствіемъ чрезъ вліяніе. Положимъ, напримѣръ, что, приблизивъ шарикъ банки къ кондуктору машины до прикосновенія или на такое разстояніе что онъ получаетъ искры *), мы электризуемъ внутреннюю обкладку положительнымъ электричествомъ. Это положительное электричество дѣйствуетъ чрезъ вліяніе на естественное электричество

*) Въ первомъ случаѣ электричество непосредственно переходитъ въ шарикъ, во второмъ переходъ дѣлается чрезъ вліяніе; электричество кондуктора соединяется путемъ искры съ разноименнымъ электричествомъ шарика, оставляя въ немъ и во всей внутренней обкладкѣ одноименное.

внѣшней обкладки и разлагаетъ его, притягивая разноименное (отрицательное) и отталкивая одноименное, которое чрезъ руку наблюдателя, держащаго банку, или чрезъ иной проводникъ уходитъ (фиг. 482, гдѣ шарикъ изображенъ въ формѣ Франклиновой доски) въ землю; отрицательное же располагается на внѣшней обкладкѣ, удерживаемое внутреннимъ положительнымъ *). Количество принимаемаго банкою электричества значительно, такъ какъ она представляетъ собою конденсаторъ, состоя изъ двухъ металлическихъ обкладокъ, раздѣленныхъ непроводникомъ.

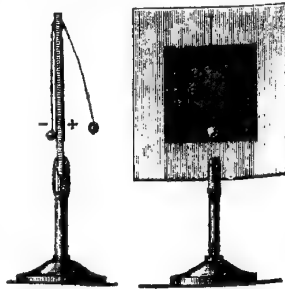
Помѣстивъ заряженную банку на непроводникъ, можемъ убѣдиться что внѣшняя обкладка не даетъ искры при приближеніи пальца, между тѣмъ какъ приближая палецъ къ шарiku внутренней обкладки, получаемъ искру. Явленіе объясняется тѣмъ что электричество притянуто на внѣшнюю обкладку, въ то время когда она была соединена съ землею, именно въ такомъ количествѣ какое можетъ быть удержано электричествомъ внутренней обкладки. Что касается до электричества внутренней обкладки, то его можно разсматривать состоящимъ изъ двухъ частей: одна удерживается при самой обкладкѣ притяженіемъ отрицательнаго электричества внѣшней обкладки; другая, свободная, располагается на проводникѣ и шарикѣ, чрезъ которые банка получаетъ электричество



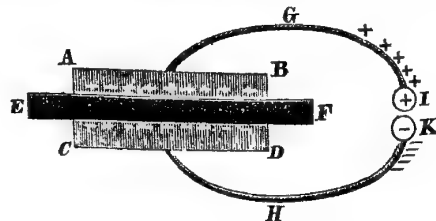
Фиг. 482.

*) Можно, впрочемъ, непосредственно доставить противоположное электричество обкладкамъ, сообщая одну изъ нихъ съ источникомъ положительнаго, другую съ источникомъ отрицательнаго электричества (проведя, напримѣръ, проволоку отъ подушекъ машины ко внѣшней обкладкѣ банки въ то время какъ внутренняя получаетъ электричество отъ кондуктора). Если полъ комнаты гдѣ производится опыты не довольно хорошо проводитъ, то этотъ второй способъ предпочтительнѣе перваго. Онъ обыкновенно употребляется, какъ увидимъ, при зарядкѣ машинъ новыми изобрѣтеніями Гольца, Румкорта).

от машины. Но какъ скоро, коснувшись шарика пальцемъ, мы извлекли искру, и чрезъ это внутренняя обкладка потеряла часть электричества, то оставшееся количество не можетъ уже удержать всего электричества вѣншей обкладки; часть его становится *свободною* и можетъ быть, давая искру, уведена чрезъ прикосновение пальца. По удаленіи ея, освобождается часть электричества внутренней обкладки; изъ шарика вновь можно получить искру и т. д. Эту послѣдовательность явленій удобно наблюдать на Франклиновой доскѣ (фиг. 483), теорія которой та же какъ и банки. Повѣсивъ на той и другой обкладкѣ по бузинному шарiku, можно убѣдиться что когда, чрезъ прикосновение пальца, уведется свободное электричество съ одной обкладки, и висѣющій на ней шарикъ не показываетъ признаковъ электричества, нѣкоторое количество электричества становится свободнымъ на другой обкладкѣ, и ея шарикъ отталкивается. Такими послѣдовательными прикосновениями банка или доска разряжаются постепенно. Но если вмѣсто того чтобы послѣдовательно касаться той и другой обкладки, мы соединимъ внутреннюю обкладку съ вѣншею помощью металлической дуги разрядника или вообще помощью проводящей цѣпи (которая, впрочемъ можетъ представлять перерывы незначительной величины), то получится сильный разрядъ, сопровождающийся появленіемъ значительной искры, какъ въ мѣстѣ замыканія, такъ и вообще во всѣхъ мѣстахъ перерыва. Пусть, напримѣръ, (фиг. 484) двѣ металлическихъ вѣтви соединены, одна съ



Фиг. 483.



Фиг. 484.

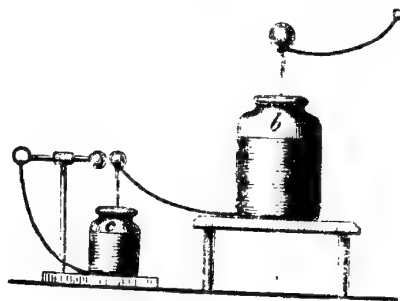
внутреннюю, другая съ вѣншею обкладками банки и сближаются взаимно. Вѣтвь соединенная съ обкладкою АВ, на которой, допустимъ, есть избытокъ свободного электричества, электризуется. На концѣ I обнаруживается положительное электричество. Въ свою очередь, конецъ К вѣтви Н электризуется

отрицательно, отчасти чрезъ вліяніе, отчасти вслѣдствіе освобожденія нѣкотораго количества электричества обкладки CD (благодаря удаленію части электричества на вѣтвь G). Когда шарикъ К и I сближены на надлежащее разстояніе (которое вообще не велико, ибо ихъ электрическое напряженіе незначительно), то происходитъ первая струя разряда. Послѣдуетъ моментальное возвращеніе вѣтвей въ ненаэлектризованное состояніе. Затѣмъ тотчасъ наступитъ новое распределеніе оставшихся электричествъ: вѣтви вновь наэлектризуются. Наэлектризованіе это слабѣе чѣмъ при началѣ, но такъ какъ, вслѣдствіе первой струи разряда воздухъ, нагрѣваясь и разрѣжаясь, дѣлается болѣе проводящимъ, то произойдетъ вторая струя разряда, хотя бы шарикъ К и I оставались на прежнемъ разстояніи. За второю струей послѣдуетъ третья и т. д. Эти струи будутъ слѣдовать одна за другою чрезъ столь малые промежутки времени, что вся совокупность ихъ представится какъ одно явленіе, — одна искра которая, несмотря на то что состоитъ изъ цѣлой послѣдовательности разрядовъ или искръ, продолжается малую долю секунды, иногда едва миллионную *. Въ случаѣ если, какъ мы и предполагали, шарикъ К и I сближаются не до прикосновения, а лишь до того разстоянія при которомъ происходитъ разряженіе, то однимъ разрядомъ (т. е. одною совокупностію частныхъ разрядовъ) не потребляется все количество электричества заряжаемой банки. Болѣе или менѣе значительная часть (смотря по свойству разряжающаго проводника) остается въ снарядѣ. Чтобы разрядить банку вполне, должно вѣншую и внутреннюю обкладки привести въ непрерывное металлическое сообщеніе. Но и въ этомъ случаѣ, если сообщеніе было кратковременно, послѣ перваго разряда можно, спустя нѣкоторое время, получить второй и болѣе. Явленіе зависитъ отъ проникновенія электричества въ толщу стекла и медленнаго возвращенія его къ обкладкамъ.

Для измѣренія количества электричества принимаемаго банкой или батареей удобно можетъ служить электромѣтръ называемый *измѣрительной банкой Лана* (Lane, въ Англіи 1767). Это есть небольшая лейденская банка, отъ вѣншей обкладки которой

* О чрезвычайной кратковременности электрической искры можно судить, освѣщая ею, въ темной комнатѣ, быстро движущійся предметъ (см. выше § 261). Прибавимъ что явленіе разряда осложняется еще тѣмъ обстоятельствомъ что въ нѣкоторыхъ случаяхъ обкладки, въ краткій срокъ разряда, нѣсколько разъ переменяютъ свое электрическое состояніе: наэлектризованная первоначально положительно временно получаетъ отрицательное наэлектризованіе и наоборотъ, такъ что частные разряды или струи мѣняютъ направленіе (исследования германскаго ученаго Федерсена, 1862).

идеть проволока къ стержню оканчивающемуся шарикомъ, помѣщаемымъ на небольшомъ, не измѣняемомъ во все время опыта, разстояніи отъ шарика банки. Какъ скоро банка эта получитъ нѣкоторое определенное количество *m* электричества, достаточное для того чтобы побѣдить препятствіе слоя воздуха раздѣляющаго шарики, она сама собою разрядится. Это количество можно принять за единицу мѣры. Такимъ образомъ, если хотимъ узнать количество электричества поступающее въ банку *b* (фиг. 485) въ данное время, то помѣ-



Фиг. 485.

щаемъ банку эту на скамейкѣ съ изолирующими ножками и соединяемъ ея вѣншнюю обкладку не съ землею, а съ внутренней обкладкой банки Лана *c*. Вступающее въ банку *b* электричество отталкиваетъ соответствующее количество одноименнаго электричества изъ вѣншней обкладки въ банку Лана, которая и разряжается, какъ скоро это количество достигло величины *m*. При каждомъ вступленіи такого количества, банка вновь разряжается. Число ея разрядовъ въ данное время пропорціо нально количеству электричества принимаемому банкой *b* въ это время. Если въ одномъ опытѣ банка разрядилась десять разъ, въ другомъ двадцать, то заключаемъ что количество электричества принимаемое банкой *b* во второмъ опытѣ вдвое болѣе чѣмъ въ первомъ. Кромѣ количества электричества заряжающаго данную банку или батарею, должно обращать вниманіе на его *плотность*. Плотностью называется количество электричества соответствующее единицѣ поверхности банки или батареи; она получается если раздѣлить количество вступившаго электричества на величину поверхности обкладки; а сравнительно, въ случаѣ двухъ батарей изъ одинаковыхъ банокъ, — на число банокъ въ каждой батарее. Дѣйствіе банки или батареи опредѣляется какъ количествомъ заряжающаго ее электричества, такъ и его плотностію. Отъ плотности зависить стремительность разряда, который тѣмъ кратковременнѣе, при дан-

ныхъ условіяхъ, чѣмъ значительнѣе плотность. То же количество при разной плотности дѣйствуетъ съ разною стремительностію; и большая разниця — разрядить батарею изъ многихъ банокъ, заключающую данное количество электричества, или одну банку заряженную тѣмъ же количествомъ.

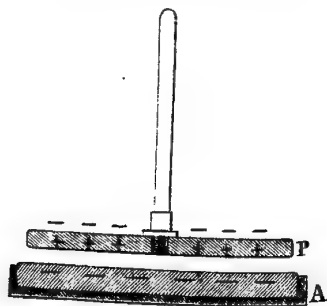
Ученіе о вліяніи пришло изъ случаю лейденской банки Эпинусъ, сдѣлавшій знаменитый въ свое время опытъ съ Франклиновою доской, въ которой стекло замѣнено слоемъ воздуха. „Послѣ того, говоритъ онъ, какъ узнали что воду (внутри лейденской банки) можно съ одинаковымъ успѣхомъ замѣнить какии-либо инымъ проводникомъ.. легко могла родиться мысль что и стекло можетъ быть замѣнено инымъ какии-либо непроводникомъ, и какъ извѣстно что воздухъ непроводникъ, то естественно было испытать, не можетъ ли онъ замѣнить собою стекло въ опытѣ. Но сколько знаю, это никому не пришло въ голову, и самъ я напалъ на такую мысль не этимъ путемъ, какъ онъ ни естествененъ, но привести былъ къ ней чрезъ Франклинову теорію“. Эпинусъ взялъ двѣ желѣзныя доски, каждая около фута шириной и полтора фута длиной, и помѣстивъ ихъ одну надъ другою такъ что между ними оставался слой воздуха; электризовалъ верхнюю, соединивъ нижнюю съ землею. Если по наэлектризованіи подносилъ руку къ верхней то получалъ искру производившую ощущеніе какъ обыкновенная искра извлекаемая изъ наэлектризованнаго тѣла. „Но если коснувшись одною рукою нижней доски подносилъ другую къ верхней, то получалась искра сопровождавшаяся сильнымъ и болѣзненнымъ ощущеніемъ во всей рукѣ извлекавшей искру изъ верхней доски и въ пальцахъ прикасавшейся къ нижней.“ Взявъ, наконецъ, двѣ большія и тонкія деревянныя доски обложенныя металлическими листами, около восьми квадратныхъ футовъ въ площади, и помѣстивъ ихъ параллельно одна надъ другою, такъ что оставшіяся между ними слой воздуха имѣлъ около $1\frac{1}{2}$ пальца толщинѣ, Эпинусъ получилъ ударъ совершенно подобный удару лейденской банки. Впрочемъ какъ мы видѣли выше, стекло лейденской банки не только имѣетъ значеніе непроводника раздѣляющаго обкладки, но и само проникается электричествомъ, такъ что не пассивно только участвуетъ въ явленіи.

§ 340. Электрофоръ. Въ 1776 году большое впечатлѣніе на ученыхъ, занимавшихся изученіемъ электрическихъ явленій, произвелъ снарядъ, родъ новой электрической машины, изобрѣтенный Вольтою и напменованный имъ *стѣннымъ электрофоромъ* (electrophorus perpetuo). „Инструментъ этотъ (значится въ письмѣ изъ Вены къ редактору *Физическаго журнала*, чрезъ который открытіе сдѣлалось извѣстнымъ во

Франціи) принадлежить къ числу самыхъ простыхъ но производитъ удивительныя дѣйствія. Изобрѣтенъ онъ въ 1775 году итальянскимъ дворяниномъ изъ Комо, Александромъ Вольтою. Весь снарядъ состоитъ изъ двухъ металлическихъ досокъ; одна изъ нихъ должна быть покрыта слоемъ смолы около полудюры линіи толщиною; другая снабжена тремя шелковыми шнурками (на фиг. 486 шнуры замѣнены стеклянною ручкою и нижняя доска имѣетъ форму плоскаго сосуда) чтобы, можно было ее легко положить на смоляной слой и поднять, не прикасаясь. Когда хотятъ пользоваться снарядомъ, то натираютъ смоляной слой рукою, или кожаной перчаткой, или мѣхомъ; потомъ помощію шнурковъ переносятъ другую доску (именуемую *щитомъ*) на этотъ слой. Затѣмъ должно коснуться концемъ пальцевъ краевъ какъ той такъ и другой металлической доски,—обыкновенно достаточно коснуться верхней,—и поднять на высоту 8 или 9 дюймовъ верхнюю доску. Изъ нея можно будетъ, приближая суставъ пальца, извлечь



Фиг. 486.



Фиг. 487.

сильную искру, если только край ее не острый. Послѣ перваго опыта вновь опустите верхнюю доску на смоляной слой, вновь коснитесь краевъ той и другой доски концами пальцевъ и подымите верхнюю: она дастъ вамъ новую искру при приближеніи сустава пальца.

Опытъ можно повторить сколько угодно разъ, не имѣя надобности прибѣгать къ новому натиранию смолянаго слоя. Можно даже оставить снарядъ на цѣлый день и даже на много дней, не опасаясь чтобы онъ потерялъ силу.“

Вольта такъ говоритъ о дѣйствіи своего электрофора большихъ размѣровъ (около двухъ футовъ въ діаметрѣ): „Дѣйствіе снаряда удивительно. Вообразите что я нерѣдко извлекаю изъ него искры въ десять или двѣнадцать толщинъ пальца и даже болѣе. Онъ въ высшей степени красивы. Представьте себѣ тонкія воспламеняющія стрѣлы царя боговъ, какъ ихъ изображаютъ живописцы и поэты. Для этого я электризую снарядъ (смоляной слой) до насыщенія, и подымаю щитъ, подношу къ нему конецъ пальца или кольцо ключа: выскакиваетъ или длинная тонкая искра, какъ я сказалъ, или рядъ искръ съ трещающимъ, или наконецъ очень длинная кисть, сопровождаемая легкимъ свистомъ... Не думайте чтобы для полученія этихъ удивительныхъ дѣйствій требовалась погода особенно благоприятная для электрическихъ опытовъ. Они обнаруживались почти въ всякой силѣ въ послѣдніе туманные и дождливые дни: требовалась одна предосторожность—вытирать шнуры держащіе щитъ“.

Одинъ изъ самыхъ большихъ электрофоровъ когда-либо сделанныхъ есть электрофоръ исполненный въ 1777 году для Петербургской Академіи Наукъ, русскимъ механикомъ Кулибинымъ. Дѣйствіе снаряда, имѣвшаго 9 футовъ длины, 4 1/2 ширины, и на который пошло 180 фунтовъ смолы, 80 сургучу, было изучено академикомъ Крафтомъ. Опыты однажды были произведены во дворцѣ, въ Царскомъ Селѣ, въ присутствіи императрицы.

Теорія снаряда основывается на дѣйствіи чрезъ вліяніе. Когда щитъ положенъ на смолу, наэлектризованную въ толщѣ ея верхняго слоя, онъ представляетъ собою проводникъ приближенный къ наэлектризованному тѣлу, но отдѣленный отъ него непроводящимъ слоемъ (этотъ слой образуютъ воздухъ и самый верхній слой смолы, освободившійся отъ электричества въ пунктахъ непосредственнаго прикосновенія со щитомъ). Въ щитѣ (фиг. 487) происходитъ разложеніе электричества. Одноименное чрезъ прикосновеніе руки уводится въ землю. Разноименное удерживается притяженіемъ электричества смолы. Оно освобождается когда щитъ поднятъ. *)

*) Явленія на которыхъ основывается дѣйствіе электрофора

Главная особенность снаряда—въ способности долгое время сохранять разъ возбужденное электрическое напряжение. Въ этомъ отношеніи существенное значеніе имѣетъ присутствіе щита съ одной стороны, нижней доски или *формы* съ другой. Какъ свидѣлствуетъ опытъ смоляной слой, получившій чрезъ натирание или чрезъ удары мѣхомъ отрицательное электричество въ верхнемъ слоѣ, самъ собою (чрезъ дѣйствіе вліянія въ самой толщѣ смолы, въ особенности въ присутствіи формы) электризуется положительно въ нижнемъ слоѣ. Щитъ и форма охраняютъ то и другое электричество отъ разсѣянія.

Германскій ученый Лихтенбергъ, производя опыты съ электрофоромъ, замѣтилъ (1777) любопытныя явленія. Онъ приготавливалъ большой электрофоръ; комната была наполнена смоляною пылью, образовавшеюся отъ полировки смоляной поверхности электрофора. Лихтенбергъ замѣтилъ что пыль, садясь на непокрытую щитомъ смоляную поверхность, сохранившую слѣды наэлектризованія, располагалась разнообразными фигурами: звѣздочками, дугами съ выходящими лучами, вѣтвями и т. д. Пылинки, очевидно, приставали къ наэлектризованнымъ мѣстамъ. Чтобы обнаружить явленіе въ рѣзкой формѣ, онъ касался смоляной поверхности шарикомъ сильно заряженной лейденской банки и посыпалъ мѣсто мельчайшею пылью (напримѣръ, канифоли), стряхивая излпки. Въ случаѣ положительнаго заряда получается солнцеподобная фигура съ лучами. Если же банка заряжена отрицательно, то круглая фигура безъ лучей. Явленіе, повидному, обусловливается движеніемъ частицъ въ воздушномъ слоѣ надъ наэлектризованнымъ мѣстомъ изолятора. Заставляя воду или иную жидкость чрезъ трубку съ тонкимъ отверстіемъ вытекать на поверхность той же жидкости или втягивая чрезъ тонкое отверстіе жидкость внутрь трубки, получаютъ на поверхности жидкости струи, имѣющія нѣкоторую аналогію съ Лихтенберговыми фигурами.

Были уже наблюдаемы Вильке, но изобрѣтеніе электрофора какъ снаряда дѣйствующаго въ качествѣ электрической машины принадлежитъ Вольтѣ. Смоляною поверхностью съ налагаемымъ на нее щитомъ Вильке пользовался, между прочимъ, для оправданія основнаго начала дѣйствія чрезъ вліяніе. Для этого онъ бралъ двѣ металлическихъ доски, соединенныхъ шелковыми нитями, такъ что одна находилась надъ другою, и если на шелковыхъ шнуркахъ держать верхнюю, то нижняя будетъ висѣть параллельно первой на нѣкоторомъ отъ нея разстояніи. Наэлектризовавъ смоляную поверхность, Вильке кзалъ на нее такой двойной щитъ, такъ что металлическія доски были непосредственно одна на другой. Поднявъ щитъ за шнурки, причемъ доски раздѣлялись, онъ находилъ верхнюю наэлектризованною отрицательно, нижнюю положительно. Если по наложеніи щита, къ нему касались рукой, то при поднятіи обѣ доски оказывались положительными.

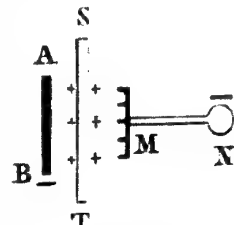
§ 341. Дѣйствіе вліянія въ непроводникахъ. Двойное вліяніе. Чрезъ вліяніе электризуются не одни проводящія тѣла. Непроводники также испытываютъ дѣйствіе вліянія, съ тою разницей что разложенныя электричества не имѣютъ въ нихъ свободы передвиженія; почему процессъ происходитъ съ медленностію. и непроводникъ нельзя разсматривать какъ одно цѣлое тотчасъ приобретающее электрическую полярность чрезъ вліяніе наэлектризованнаго тѣла. Впрочемъ яснаго представленія о явленіяхъ вліянія въ непроводникахъ мы еще не имѣемъ. Эппинсъ обнаружилъ дѣйствіе вліянія въ длинной стеклянной трубкѣ положенной на столѣ фиг. 488 такъ что одинъ



Фиг. 488.

конечъ ея на нѣсколько футовъ выдавался со стола. Приблизивъ наэлектризованную трубку C, онъ не нашелъ въ длинной трубкѣ признаковъ электричества; но когда потеръ нѣсколько разъ трубкой C конецъ A, то сообщилъ ему на протяженіи 4 или 5 пальцевъ положительное электричество. Тогда на слѣдующей части, на протяженіи около 2 пальцевъ обнаружилось отрицательное электричество, а далѣе между D и B опять слабое, но явственное положительное электричество. Электричества были противоположны съ первымъ случаемъ, когда конецъ A былъ потертъ наэлектризованною напочкой сѣры. Такимъ образомъ сообщенное концу ея электричество, дѣйствуя чрезъ вліяніе, возбуждаетъ въ сосѣдней части противоположное электричество, отталкивая одноименное въ болѣе отдаленныя.

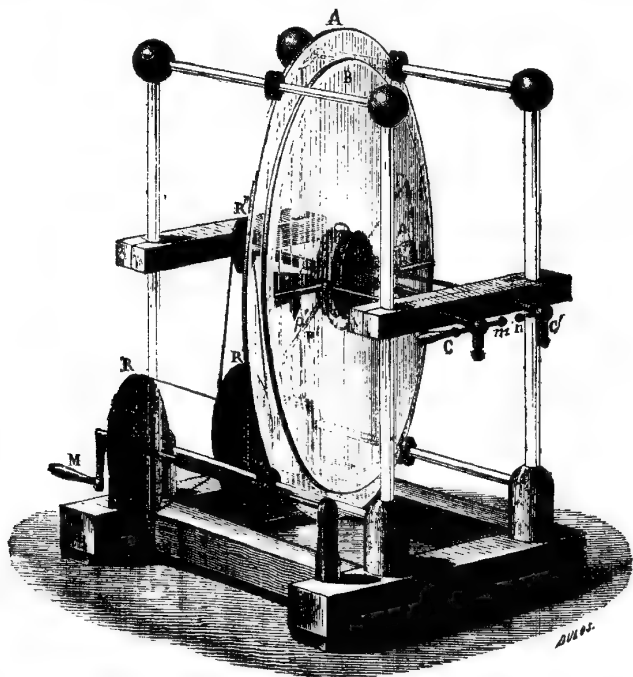
Если вліянію наэлектризованнаго тѣла подвергаются одновременно—непроводникъ и помѣщенный за нимъ проводникъ, снабженный остриями, то обнаруживается явленіе которое берлинскій профессоръ Риссъ именуетъ *двойнымъ вліяніемъ*. Пусть, напримѣръ, непроводникъ есть стеклянный дискъ ST (фиг. 489) помѣщенный между наэлектризованнымъ отрицательно тѣломъ AB и проводникомъ съ остриями MN. Разложеніе электричества произойдетъ какъ въ дискъ такъ и въ проводникъ. Дискъ на сторонѣ обращенной къ AB будетъ слабо наэлектризованъ положительнымъ электричествомъ. Другая поверхность диска,



Фиг. 489.

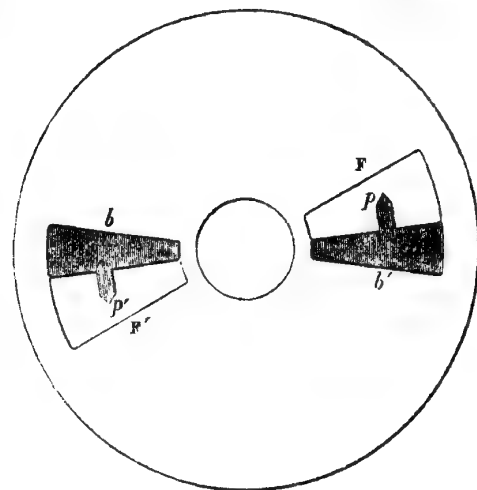
еслибъ явление происходило по закону простаго вліянія, должна бы быть наэлектризована отрицательно. Но такъ какъ проводникъ MN также испытываетъ вліяніе, и притомъ значительно сильнѣйшее чѣмъ непроводникъ, то притянутое къ острымъ положительное электричество сообщится диску и покроетъ его значительнымъ слоемъ положительнаго электричества. Такимъ образомъ стеклянный дискъ съ обѣихъ сторонъ будетъ наэлектризованъ положительно, и притомъ главнымъ образомъ на сторонѣ обращенной къ острымъ. Кондукторъ на концѣ N обнаружитъ отрицательное напряженіе.

§ 342. Электрическая машина Гольтца. На явленіи двойнаго вліянія основывается дѣйствіе электрической машины изобрѣтенной германскимъ ученымъ Гольтцемъ въ 1862 году. Машина Гольтца (фиг. 490, состоитъ изъ тонкаго стекляннаго круга вращающагося предъ другимъ неподвижнымъ стекляннымъ кругомъ, имѣющимъ на концахъ своего горизонтальнаго діаметра двѣ вырѣзки или два окна.



Фиг. 490.

На одномъ изъ краевъ каждой вырѣзки наклеены небольшія бумажныя накладки b и b' (фиг. 491), оканчивающіяся остры-



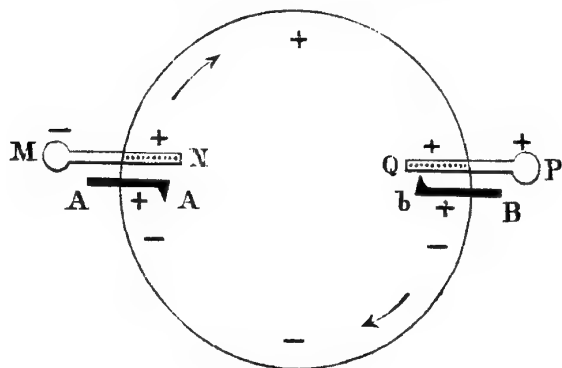
Фиг. 491.

ями, p и p' направленными въ противоположныя стороны; такъ что если острие одной накладки смотритъ вверхъ, острие другой направлено внизъ. Противъ накладокъ, съ другой стороны вращающагося диска, находятся металлическіе гребни на изолированныхъ кондукторахъ. Тупые концы кондукторовъ соединяются съ разрядникомъ, помощью котораго извлекаются искры. Чтобы увеличить напряженность искры, къ машинѣ присоединяется конденсаторъ, въ формѣ двухъ небольшихъ лейденскихъ банокъ, которыхъ внутреннія обкладки сообщены съ однимъ кондукторомъ, машины, наружныя съ другимъ. Такимъ образомъ электричества отъ кондукторовъ разряжаются чрезъ разрядникъ скопившійся предварительно въ конденсаторѣ. Чтобы привести машину въ дѣйствіе, одной изъ накладокъ сообщаютъ слабое электрическое напряженіе, коснувшись ея напимѣръ дощечкой твердаго каучука, наэлектризованнаго нѣсколькими ударами мѣха. Затѣмъ приводятъ въ движеніе вращающійся дискъ, замкнувъ разрядникъ. На острияхъ замѣчается шипѣніе, наблюдатель чувствуетъ что ему нѣсколько трудно вращать, чѣмъ когда машина не дѣйствуетъ *. Тогда, раздвинувъ вѣтви разрядника, получаютъ

* Важное явленіе свидѣтельствующее что дѣйствіе машины есть случай перехода механической работы въ электричество.

сильныя искры, свидѣтельствующія что кондукторы сильно наэлектризованы противоположными электричествами. Если снять конденсаторъ, то разрядъ принимаетъ форму шипящей кисти свѣта. Если провести проволоки отъ кондукторовъ къ внутренней и внешней обкладкамъ лейденской банки или батареи, то банка или батарея быстро заряжаются, значительно быстрее чѣмъ отъ обыкновенныхъ машинъ такого же размѣра. Можно также произвести свѣтъ въ разряженномъ воздухѣ или газахъ, химическія дѣйствія и т. д.

Теорія снаряда состоитъ, по объясненію берлинскаго профессора Гесса, въ слѣдующемъ. Вращающійся дискъ, проходя между наэлектризованною накладкой и острымъ кондуктора, испытываетъ явленіе двойнаго вліянія и электризуется (фиг. 492) съ



Фиг. 492.

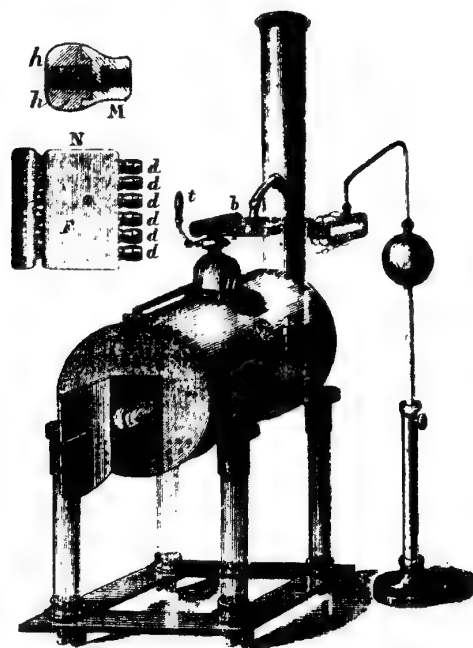
обѣихъ сторонъ положительнымъ электричествомъ, если обкладка наэлектризована отрицательно. Когда дискъ совершитъ полусоборотъ, вся его верхняя часть будетъ такимъ образомъ положительно наэлектризована. Но когда наэлектризованная часть войдетъ въ промежутокъ между второю накладкой и вторымъ кондукторомъ, то остріе накладки и остріе кондуктора снимутъ, такъ сказать, электричество съ диска. Вторая накладка получитъ положительный зарядъ. Потому дѣйствіе не ограничится удаленіемъ положительнаго электричества съ диска, а онъ тотчасъ же, испытывая вновь двойное вліяніе, наэлектризуется съ обѣихъ сторонъ отрицательнымъ электричествомъ. Такимъ образомъ послѣ цѣлаго оборота верхняя половина диска будетъ наэлектризована положительно, нижняя отрицательно. Такъ будетъ продолжаться во все время опыта: въ каждый моментъ двѣ половины стекла, — та которая выше и та которая ниже горизонтальнаго діаметра, соединяющаго наклад-

ки, — представляютъ собою источники противоположнаго электричества, сообщаемаго какъ кондукторамъ, такъ и накладкамъ. Электричества гонимыя въ кондукторы соединяются чрезъ разрядникъ. Электричества сообщаемыя накладкамъ постепенно усиливаютъ ихъ электрическое напряженіе. Дѣйствіе машины усиливается болѣе и болѣе, достигая нѣкотораго предѣла. Тогда, раздвинувъ концы разрядника, можно получать искры.

Стеклянный неподвижный дискъ служитъ къ тому чтобы уменьшить потерю чрезъ воздухъ электричества вращающагося диска. Вырѣзки около мѣста гдѣ обкладки, напротивъ, служатъ къ тому чтобы сообщеніе электричества было свободно.

§ 343. Гидро-электрическая машина Армстронга. Въ 1840 году, на одномъ заводѣ близъ Ньюкестля въ Англіи, надсмотрщикъ паровой машины былъ изумленъ когда однажды, держа случайно руку въ струѣ пара, съ силою выходившей изъ трещины въ замазкѣ предохранительнаго клапана котла, и коснувшись другою рычага клапана, съ цѣлью регулировать обремененіе, замѣтилъ яркую искру, вылетѣвшую между рукою и рычагомъ и получилъ сотрясеніе въ рукахъ. Извѣстный инженеръ Армстронгъ, получивъ извѣстіе объ этомъ фактѣ, изучилъ оный и пришелъ къ заключенію что онъ происходилъ отъ электричества развивавшагося когда паръ съ треніемъ выходилъ чрезъ трещину. Паръ оказался приобретающимъ положительное электричество. Чтобы повторить опытъ въ большихъ размѣрахъ, Армстронгъ распорядился поднять локомотивъ съ рельсовъ и поставить его на изолирующія подставки. Каждая подставка состояла изъ двухъ кусковъ просмоленнаго дерева, раздѣленныхъ слоемъ смолы съ оберточною бумагой. Вода въ котлѣ была доведена до кипѣнія. Пока паръ оставался заключеннымъ, котель не обнаруживалъ признаковъ электричества, но какъ только стали паръ выпускать, котель сильно наэлектризовался отрицательнымъ электричествомъ. Искры были, правда, не длиннѣ дюйма, но очень широки и блестящи; ихъ дѣйствіе было сходно съ дѣйствіемъ обыкновенной лейденской банки. Фарадей, въ свою очередь, занялся изученіемъ электричества развивающагося отъ тренія струи выходящаго пара и пришелъ къ заключенію что при опытахъ этого рода «все электричество происходитъ отъ тренія увлекаемыхъ паромъ мелкихъ водяныхъ частицъ о твердыя стѣны канала, совершенно какъ при обыкновенныхъ опытахъ съ треніемъ. При этомъ вода должна быть чистая. При введеніи (въ снарядъ) дистиллированной воды электричество развивалось въ значительномъ количествѣ, но когда въ воду брошенъ былъ небольшой кристаллъ сѣрноокислаго кали или немного поваренной соли, развитіе электричества прекращалось. Употребляя обыкновенную воду какою снабженъ Лондонъ, не получили дѣйствія.»

На основаніи изученнаго имъ явленія Армстронгъ устроилъ сильную гидро-электрическую машину. Фиг. 493 даетъ поня-



Фиг. 493.

тіе о подобныхъ машинахъ небольшой модели. Паръ образующійся въ котлѣ, изолированномъ помощью стеклянныхъ ножекъ, выходитъ чрезъ рядъ отверстій, въ которыя вставлены деревянныя трубочки съ изогнутымъ капаломъ (онѣ изображены отдѣльно въ верхней части чертежа, причемъ одна *M* представлена въ сѣченіи и въ большемъ размѣрѣ). Отъ значительнаго тренія въ трубочкахъ развивается электричество, и выходящій паръ оказывается сильно наэлектризованнымъ. Онъ сообщаетъ электричество остріямъ кондуктора.

Машина устроенная въ 1849 году для Политехническаго Института въ Лондонѣ состояла изъ цилиндрическаго котла въ 7 футовъ длиною около и $3\frac{1}{2}$ въ діаметрѣ. Снарядъ стоялъ на толстыхъ стеклянныхъ ножкахъ, искру давалъ до 22 дюймовъ длиною, заряжалъ въ нѣсколько секундъ большую лейденскую батарею, разлагалъ воду и вообще производилъ химическія дѣйствія значительно сильнѣе чѣмъ обыкновенныя машины самыхъ большихъ размѣровъ.

III. Ученіе объ электричествѣ отъ прикосновенія разнородныхъ тѣлъ. Вольтовъ столбъ или гальваническая батарея.

§ 344. Открытіе содроганія лягушечей лапки отъ дѣйствія электричества. Основной опытъ Гальвани. Въ 1791 году появилось въ Болоніи сочиненіе доктора Гальвани *) „De viribus electricitatis in motu musculari“, въ которомъ описывались въ высшей степени замѣчательные опыты. Первый изъ нихъ состоитъ въ слѣдующемъ. Препарировавъ лягушку какъ показано на фиг. 494 на стр. 578 (съ лапокъ снята кожа и при нихъ оставлены два нерва и нѣсколько позвонковъ, откуда эти нервы исходятъ), „я положилъ ее, говоритъ Гальвани, безъ особой цѣли, на столъ, гдѣ стояла электрическая машина... Когда одинъ изъ моихъ слушателей слегка прикоснулся нерва концомъ ножа, лапка содрогнулась какъ бы отъ сильной конвульсіи. Другой изъ присутствовавшихъ замѣтилъ что это случилось только въ то время когда изъ кондуктора машины извлекалась искра.“ Изучая это любопытное явленіе, Гальвани убѣдился что условіе при которомъ лапка содрагается заключается въ томъ чтобы, находясь въ содѣйствіи наэлектризованнаго тѣла, изъ котораго извлекается искра, „нервъ былъ въ то же время въ прикосновеніи съ проводящимъ тѣломъ“ (эту роль въ опытѣ играли ножъ и державшій его наблюдатель).

*) Гальвани, профессоръ анатоміи въ Болоніи, родился въ 1737 году. Въ 1790 году, отказавшись дать присягу новообразовавшейся Цизальпійской республикѣ, потерялъ мѣсто и жилъ въ весьма стѣснительныхъ обстоятельствахъ. Умеръ въ 1798. Упомянутое сочиненіе есть мемуаръ помѣщенный въ изданіи мѣстнаго ученаго общества.

Гальвани не далъ, впрочемъ, настоящаго объясненія опыта, представляющаго случай дѣйствія электричества чрезъ вліяніе, а именно случай такъ-называемаго *обратнаго удара*. Нервъ вмѣстѣ съ проводникомъ, соединяющимъ его съ землею, электризуется чрезъ вліяніе кондуктора машины. Какъ скоро изъ кондуктора извлекается искра и онъ разряжается, дѣйствіе вліянія тотчасъ прекращается, и оттолкнутое изъ лапки въ землю электричество, одноименное съ тѣмъ какое въ кондукторѣ, стремительно возвращается, соединяясь съ находящимся въ лапкѣ и производя дѣйствіе на нервъ какъ всякій электрическій разрядъ *).

Заинтересованный новымъ наблюденіемъ Гальвани пожелалъ узнать не производитъ ли атмосферное электричество такое же дѣйствіе какъ разрядъ кондуктора. Для этого нервъ лапки былъ приведенъ помощью проволоки въ сообщеніе съ изолированнымъ желѣзнымъ шестомъ, выставленнымъ на крышу; другая проволока шла отъ лапки въ землю (въ воду колодца). Не только во время молній, но и вообще когда „близко проходили грозовыя облака“, нерѣдко замѣчались содраганія. Наконецъ, замѣтивъ что иногда лапки лягушки, заготовленные для опытовъ и висѣвшія на желѣзномъ заборѣ сада помощью воткнутыхъ въ позвоночный столбъ желѣзныхъ крючковъ, обнаруживали иногда характеристическія содраганія, Гальвани приписалъ и ихъ перемѣнамъ атмосфернаго электричества и пожелалъ обнаружить нѣтъ ли дѣйствія при ясномъ

*) Въ большихъ размѣрахъ явленіе обратнаго удара неоднократно наблюдалось во время грозы. Бывали случаи громоваго пораженія людей и животныхъ находившихся въ некоторомъ разстояніи отъ того мѣста гдѣ непосредственно ударяла молнія. Пораженія эти объясняются стремительнымъ возвращеніемъ изъ земли электричества, оттолкнутаго было изъ поражаемаго существа дѣйствіемъ грозоваго облака, прекратившагося когда облако разрядилось чрезъ ниня тѣла. Явленіе объяснено лордомъ Магономъ (1779).

небѣ. Много дней, въ различные часы наблюдалъ онъ нарочно повѣшенную на заборѣ лапку, прижималъ по временамъ крючокъ къ периламъ. *Дѣйствіе иногда наблюдалось*, но не было замѣтно никакой правильности. Гальвани тѣмъ не менѣе былъ склоненъ приписать явленіе атмосферному электричеству. „Такъ легко, замѣчаетъ онъ, обманываемъ мы себя при опытахъ: какъ часто думаемъ что дѣйствительно видѣли и нашли то что желаемъ видѣть и найти.“ Но скоро оказалось что замѣченныя содраганія не зависятъ отъ атмосфернаго электричества и представляютъ собою фактъ принадлежащій къ новой, неизслѣдованной еще области явленій. „Когда я перенесъ, говоритъ Гальвани, лягушку въ комнату, положилъ на желѣзной дощечкѣ и прикоснулся къ желѣзу воткнутымъ въ позвоночный столбъ крючкомъ,—обнаружились тѣ же движенія, тѣ же содраганія. Я пробовалъ опытъ съ разными металлами, въ разные часы дня, въ разныхъ мѣстахъ: результатъ былъ одинъ и тотъ же... Подобнымъ образомъ когда и одною рукой держалъ крючокъ воткнутый въ позвоночникъ, трогая лапками края подставленной серебряной чашечки, а другою касался стѣнокъ той же чашечки помощью какого-нибудь металлическаго тѣла,—животное приходило въ сильное содраганіе.“ Повторяя опытъ съ своимъ знакомымъ, Гальвани далъ ему держать крючокъ, а самъ коснулся чашечки: содраганій не было; явленіе возобновилось какъ скоро наблюдатели взяли за руки, такъ что образовали „родъ электрической цѣпи“.

Наконецъ, въ простѣйшей формѣ, какъ производится и нынѣ, Гальвани произвелъ свой знаменитый опытъ взявъ металлическую дугу и касаясь (фиг. 494) однимъ ея концемъ нерва, другимъ мускула лапки. Въ моментъ замыканія и прерыванія такой цѣпи лапка содрагается. Опытъ особенно рѣзокъ если металлическая дуга состоитъ изъ двухъ металловъ, напримѣръ,

цинка и мѣди. Дуга изъ одного металла хотя нерѣдко и производитъ содраганія, но значительно слабѣйшія и лишь на особенно свѣжихъ и чувствительныхъ препаратахъ. Чтобъ объяснить свой опытъ, Гальвани допустилъ что лапка лягушки есть какъ бы естественная лейденская банка. Нервъ и мускулъ соотвѣтствуютъ внутренней и внѣшней обкладкѣ банки. Металлическая дуга, или иной проводникъ образующій между ними сообщеніе, играетъ роль разрядника. Почему разрядникъ долженъ быть изъ разнородныхъ металловъ, — теорія Гальвани не давала удовлетворительнаго объясненія. Вольта показалъ что возрѣніе Гальвани ошибочно и открылъ истинную причину содраганія лапки въ случаѣ металлическаго проводника, соединяющаго нервъ съ мускуломъ.

§ 345. Повтореніе опытовъ Гальвани различными учеными. „Волненіе какое произвело въ мірѣ физиковъ, физиологовъ и врачей появленіе *Комментарія* Гальвани можно, говорить Дю-Буа Реймонъ (профессоръ въ Берлинѣ, знаменитый электро-физиологическими изслѣдованіями), сравнить только съ тѣмъ какое въ эту эпоху (1791) поднялось на политическомъ горизонтѣ Европы. Можно сказать, гдѣ только были лягушки и можно было достать два куска разнородныхъ металловъ, каждый хотѣлъ собственными глазами убѣдиться въ удивительномъ оживленіи отрѣзаннаго члена. Физиологи думали что имъ удалось во очію уловить ихъ сонъ о жизненной силѣ; врачамъ казалось что нѣтъ уже невозможнаго исцѣленія.“ Опытъ Гальвани повторялся повсюду: изъ Калькуты писали объ опытахъ надъ бенгальскими пресмыкающимися съ сильно развитыми мускульною и нервною системами. Набоѣѣ впечатлѣнія и набоѣѣ плодovitыхъ изысканій опытъ Гальвани возбудилъ въ странѣ гдѣ былъ произведенъ. На него направилъ свою гениальную способность къ опытному изученію природы Вольта и создалъ новую отрасль физики. „Признаюсь, писалъ онъ, я съ невѣріемъ и самою малою надеждой на успѣхъ приступилъ къ первымъ опы-



Фиг. 494.

тамъ: такъ невѣроятны казались мнѣ эти опыты, такъ далеки отъ всего что намъ доселѣ извѣстно объ электричествѣ. Не стыжусь просить изобрѣтателя простить мнѣ это невѣріе и это упорство... Нынѣ я обратился; я былъ очевидцемъ, самъ производилъ чудное дѣйствіе и отъ невѣрія перешелъ можетъ быть къ фанатизму.“

Въ Германіи Гренъ (издатель извѣстнаго физическаго журнала), вмѣстѣ съ Форстеромъ, Клюгелемъ, Рейлемъ, Веберомъ, спѣшилъ повторить опыты Гальвани и на страницахъ своего изданія слѣдить за всеми новыми открытіями въ области гальванизма. Сочиненія Гальвани и Вольты переводятся на нѣмецкій языкъ, и въ Германіи возникаетъ своя обширная литература новаго предмета, появляются цѣлыя книги. Письма Вольты къ англійскимъ ученымъ показываютъ съ какою интересомъ новые опыты были приняты въ Англіи. Наименѣе движенія произвели они во Франціи. Редакторъ *Журнала физики* перевелъ кое-что въ своемъ изданіи; итальянскій докторъ Вальли (1792) повторилъ опыты (въ лабораторіи Фуркюра) предъ академическою комиссіей, состоявшею изъ Леруа, Витъ д'Азира и Куломба. Но этимъ почти все и ограничилось. Политическая буря, гремѣвшая въ странѣ, заглушала интересы науки и знанія.

§ 346. Изслѣдованія Вольты. Открытіе электричества отъ прикосновенія разнородныхъ тѣлъ. Повторивъ опыты Гальвани и убѣдившись въ ихъ справедливости, „я рѣшился, говоритъ Вольта, изслѣдовать ихъ подробно не только съ качественной, но съ количественной стороны... Что можно сдѣлать хорошаго, особенно въ физикѣ, если не сводить все къ мѣрѣ и степени. Я нашелъ что очень слабого электричества достаточно чтобы произвести не только малыя движенія и конвульсіи, но сильныя скачки и содраганія всѣхъ членовъ, особенно ногъ. Невѣроятно слабое электричество производитъ такое дѣйствіе на лапки приготовленныя по способу Гальвани... Электрическая сила не могущая дать малѣйшей искры, не оказывающая дѣйствія на чувствительнѣйшіе Беннетовы электро-скопы, производитъ сильнѣйшія содраганія въ лапкахъ. Приготовленная по способу Гальвани лягушка есть чувствительнѣйшій электрометръ.“ Обнаруживъ такимъ образомъ замѣчательную чувствительность лапки лягушки для электрическихъ разрядовъ, Вольта

перешелъ къ вопросу о томъ откуда берется электричество дѣйствующее въ опытъ Гальвани. Допущеніе Гальвани что лапка есть естественная лейденская банка не оправдалось, такъ какъ оказалось что содраганія можно возбудить, не соединяя электрическимъ проводникомъ мускула съ первымъ, а дѣйствуя только на нервъ,—разряжая, напимѣръ, помощію двухъ проводниковъ, касающихся нерва въ двухъ точкахъ, разстоящихъ на нѣсколько линий, лейденскую банку самымъ слабымъ образомъ заряженную. Такимъ образомъ, если, обнаживъ и изолировавъ нервъ лапки, обернуть его въ двухъ близкихъ пунктахъ металлическими листочками,—всего лучше изъ разнородныхъ металловъ,—и потомъ соединить такія обкладки металлическою дугой, то лапки обнаружатъ сильный содраганія во всемъ членѣ, хотя и нѣтъ непосредственнаго къ нему прикосновенія. Вольта заключилъ что вообще въ опытъ Гальвани лапка играетъ роль электроскопа, электричество же раздражающее нервъ имѣетъ свой источникъ не въ самой лапкѣ, а въ тѣхъ разнородныхъ проводникахъ помощію которыхъ приводятся въ сообщеніе мускулъ съ нервомъ или два пункта нерва. Отсюда идея о возбужденіи электричества помощію простаго *прикосновенія* разнородныхъ проводниковъ. „Можно ли, спрашиваетъ Вольта, электричество(дѣйствующее въ опытъ Гальвани) считать принадлежащимъ самому органу и первоначальнымъ? Не вѣроятнѣ ли во много разъ что органы служатъ только проводниками, и суть очень чувствительные электрометры, дѣйствуютъ же собственно металлы; не вѣроятнѣ ли, пменно, что въ мѣстахъ прикосновенія металловъ электрической жидкости дается импульсъ, и они суть не простые проводники, но *двигатели* или *возбудители* электричества. Что говорю я вѣроятнѣ? Вполнѣ очевидно что дѣйствіе зависитъ

отъ металловъ и ихъ разнаго строенія, ибо для удачи опыта необходимо чтобы металлы были разнородны. Въмѣсто того чтобы говорить *животное электричество*, мы съ неменьшимъ правомъ можемъ сказать *металлическое электричество*. Не возражайте что иногда получаются движенія препарата Гальвани когда для соединенія частей служатъ *одинакіе* металлы, серебро и серебро, олово и олово, желѣзо и желѣзо. Явленіе обнаруживается,—и то не всегда,—въ первыя минуты, пока наилучше препарированное животное имѣетъ сильную возбудительность, такъ что чувствительно къ малѣйшему дѣйствію. Но можно ли утверждать что употребляемые при семъ металлы вполнѣ одинаковы. Они таковы по имени, а не по сущности; случайныя свойства, каковы твердость, мягкость, гладкость и глянецъ поверхности, теплота и проч. могутъ по отношенію къ электрическому дѣйствію, а именно по отношенію къ способности приводить электричество въ движеніе въ мѣстѣ прикосновенія съ жидкими частями, быть вполнѣ достаточными причинами различія.“ Въ этомъ прикосновеніи металловъ съ жидкостями Вольта видѣлъ первоначально главный источникъ электрическаго возбужденія, но потомъ склонился къ заключенію что это дѣйствіе значительно слабѣе чѣмъ дѣйствіе прикосновенія разнородныхъ металловъ между собою.

Какъ подтвержденіе своей теоріи Вольта указалъ слѣдующій опытъ (подобный опытъ былъ уже описанъ германскимъ ученымъ Зулцеромъ *), въ 1762 году). Онъ бралъ два металлическихъ кружочка, одинъ изъ чистаго, хорошо отполированного олова, другой изъ серебра и, прикоснувшись однимъ къ концу языка, другимъ къ верхней его поверхности, приводилъ кружочки свободными концами въ

*) Въ сочиненіи *Теорія удовольствія*.

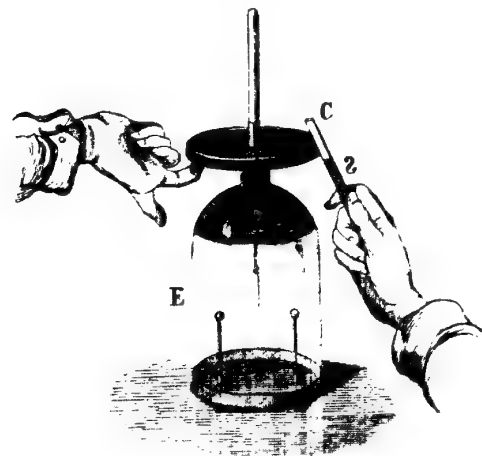
прикосновение. Язык тотчас чувствовал на кончикъ кислый вкусъ. Опытъ производится еще удобнѣе если опустить языкъ въ сосудъ съ водою, въ которомъ виситъ пластинка олова или цинка и, держа мокрою рукой серебряную бляху, коснуться ею пластинки: кончикъ языка почувствуетъ рѣзкій кислый вкусъ. Несомнѣнно, замѣчаетъ Вольтъ, что явленіе происходитъ отъ тока электричества, ибо то же ощущение получается если кончикъ языка поднести къ наэлектризованному кондуктору машины, когда электричество стекаетъ кистью съ острія. Если перемѣстить металлы, то или вовсе не получается вкуса или онъ чувствуется ѣдкій и жгучій какъ отъ щелочи. „Весьма замѣчательно, прибавляетъ Вольтъ, что вкусъ продолжается все время пока олово и серебро находятся въ прикосновеніи и даже нѣсколько усиливается. Это доказываетъ что переходъ электрической матеріи съ одного мѣста на другое совершается непрерывно“; другими словами, что въ кругѣ составленномъ изъ металловъ и влажныхъ частей организма происходитъ постоянное движеніе электричества, проходить, какъ говорится, *электрическій токъ*.

Вольтъ видоизмѣнилъ опытъ еще въ слѣдующую любопытную форму. „Четверо или нѣсколько человѣкъ изолированныхъ, — для чего достаточно чтобы они стояли ногами на каменномъ полу, если онъ сухъ, — приводятся въ проводящее соединеніе, причемъ одинъ пальцемъ касается кончика языка сосѣда, этотъ же своимъ пальцемъ глазного яблока слѣдующаго; двое другихъ держатъ мокрыми руками, одинъ ноги, другой позвоночникъ препарированной лягушки. Первый въ рядѣ беретъ во влажную руку цинковую пластинку, послѣдній же серебряную и приводятъ ихъ въ прикосновение. Тотчасъ тотъ котораго касается своимъ пальцемъ держащій въ другой рукѣ цинкъ почувствуетъ кислый вкусъ; тотъ до чьего глаза касается палецъ сосѣда замѣтитъ какъ бы свѣтъ; лягушка придетъ въ содроганіе.“

Для полного утвержденія теоріи Вольты недоставало прямого доказательства, помощью электроскопа, что два прикасающіеся металла или металлы касая-

щейся жидкости, взаимно электризуются. Наконецъ, послѣ многихъ попытокъ, Вольтъ удалось сдѣлать такой прямой опытъ въ 1795 году.

§ 347. Обнаруженіе электричества отъ прикосновенія помощью опытовъ съ электроскопомъ *). Вольтъ говоритъ: „Привожу въ прикосновение кружокъ серебра, напримѣръ монету, и кружокъ цинка, которые налагаю отчасти одинъ на другой, соединяя вмѣстѣ помощью винта, гвоздя или спая, безъ посредства какого-нибудь сторонняго вещества... Взявъ цинкъ пальцами, прилагаю на нѣкоторое время серебро къ верхнему диску конденсатора, котораго нижній дискъ сообщаю съ землею. Удаляю затѣмъ двойную пластинку принятое отъ серебра электричество скопилось, благодаря конденсаціи произведенной дѣйствіемъ нижняго диска. Поднятый дискъ обнаруживаетъ отрицательное электричество, которое дѣлаю видимымъ, приближая дискъ къ моему электрометру съ соломенками и прикасаясь къ его шарику.“ Опытъ Вольты въ нѣсколько измѣненномъ видѣ изображенъ на фиг. 495. Двойная пластинка представлена состо-



Фиг. 495.

*) Опытъ удался въ первый разъ въ 1795 году и первоначально былъ произведенъ помощью электроскопа снабженнаго особымъ тройнымъ конденсаторомъ и называемаго дупликатомъ Никольсона.

ящю изъ двухъ палочекъ, одной *S* изъ цинка, другой *C* изъ серебра или мѣди; конденсаторъ навинченъ на электроскопъ, а не находится отдѣльно какъ у Вольты. При такомъ расположеніи, при поднятіи верхняго диска, электроскопъ обнаружитъ электричество, которое было связано на нижнемъ дискѣ электричествомъ верхняго полученнымъ, отъ металла. Электроскопъ покажетъ положительное электричество; слѣдовательно металлъ сообщилъ отрицательное. Если вмѣсто того чтобы касаться диска конденсатора серебромъ или мѣдью, коснуться его цинкомъ, держа въ рукѣ серебряную или мѣдную часть двойной палочки, то электроскопъ не обнаружитъ электричества. Но если въ томъ мѣстѣ гдѣ цинкъ касается диска конденсатора положить мокрую бумажку, то электричество обнаружитъ и притомъ противоположное съ первымъ опытомъ: верхній дискъ чрезъ бумажку принимаетъ отъ цинка положительное электричество.

Описанные опыты легко объясняются, если, вмѣстѣ съ Вольтою, допустимъ что вслѣдствіе прикосновенія куска цинка съ кускомъ серебра или мѣди, оба прикасающіеся тѣла электризуются и притомъ цинкъ положительно, серебро или мѣдь отрицательно; далѣе, что прикосновение серебра съ мѣдью и цинка съ водою или совѣмъ не сопровождается электризованіемъ, или сопровождается гораздо слабѣйшимъ чѣмъ прикосновение цинка съ тѣмъ или другимъ изъ названныхъ металловъ. Въ первомъ опытѣ верхній дискъ непосредственно принимаетъ отрицательное электричество серебра или мѣди; во второмъ положительное цинка сообщается ему сквозь бумажку. Если бы бумажки не было, то цинкъ имѣлъ бы два металлическихъ прикосновения, оказывающія противоположное дѣйствіе. Тогда какъ металлъ серебро или мѣдь который наблюдатель держитъ въ рукѣ стремится разлить на цинкъ и на дискъ конденсатора положительное электричество,—металлъ изъ котораго состоитъ этотъ дискъ (предполагаемъ мѣдь) стремится потокъ того же рода электричества направить на цинкъ и соединенные съ нимъ проводники. Два противоположныхъ дѣйствія взаимно уничтожаются: дискъ остается не наэлектризованнымъ.

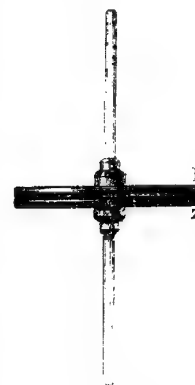
Но не трудно видѣть что опыты могутъ быть истолкованы и иначе, если допустить что источникъ электричества есть прикосновение цинка съ жидкостью, причемъ цинкъ получаетъ отрицательное, жидкость положительное электричество; прикосновение же металловъ между собою не сопровождается замѣтнымъ наэлектризованіемъ. Въ такомъ случаѣ дискъ въ первомъ опытѣ получаетъ отрицательное электричество отъ цинка, наэлектризовавшагося вслѣдствіе прикосновения къ пальцамъ наблюдателя, всегда болѣе или менѣе влажнымъ. Во второмъ опытѣ дискъ получаетъ положительное электричество

отъ смоченной бумажки касающейся цинка, электризующагося отрицательно.

Наконецъ можно допустить что оба источника (прикосновение металловъ между собою и прикосновение металловъ съ жидкостями) имѣютъ мѣсто, и опыты, въ описанныхъ случаяхъ, объясняются ихъ совокупнымъ и согласнымъ дѣйствіемъ. Такого мнѣнія держался и Вольта, принимавшій только что взаимодѣйствіе металловъ гораздо сильнѣе чѣмъ взаимодѣйствіе металловъ съ жидкостями.

Слѣдующіе опыты, въ которыхъ упомянутые источники электрическаго возбужденія дѣйствуютъ отдѣльно, а не смѣшанно, какъ въ описанныхъ, дѣйствительно свидѣтельствуютъ что какъ прикосновение металловъ между собою, такъ и прикосновение ихъ съ жидкостями сопровождается возбужденіемъ электричества.

§ 348. Опыты Вольты надъ электричествомъ отъ прикосновения двухъ металловъ. „Я привожу, говоритъ Вольта, во взаимное прикосновение дощечки разныхъ металловъ, къ которымъ придѣланы изолирующія ручки (фиг. 496), служащія для того чтобы раздѣлять дощечки и подносить ихъ къ электроскопу. Двѣ дощечки, одна серебряная, другая цинковая, ровныя и отполированныя,—что независимо отъ электрической движущей силы, дѣлаетъ ихъ способными служить въ качествѣ конденсатора,—будучи приложены одна къ другой, обнаруживаютъ при раздѣленіи положительное электричество на цинкѣ, отрицательное на серебрѣ. Такъ какъ явленіе имѣетъ мѣсто безъ всякаго посредства какой-либо влаги, то какой иной причинѣ приписать перемѣщеніе электрической жидкости, какъ не прикосновению металловъ различной природы?“

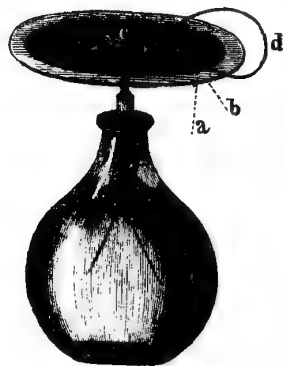


Фиг. 496.

Германскій ученый Фехнеръ (маститый профессоръ въ Лейпцигѣ) внимательно изучилъ и подтвердилъ это явленіе, навинчивая одинъ изъ прикасающихся дисковъ непосредственно на

электроскопъ и накладывая на него другой помощью изолирующей ручки. Электроскопъ при наложеніи не обнаруживаетъ признаковъ электричества, но когда верхній дискъ поднять, то электричество, дотош. связанное, становится свободнымъ, и электроскопъ показываетъ положительное электризованіе, если навинченный дискъ изъ цинка, поднимаемый изъ серебра или мѣди.

§ 349. Электричество отъ прикосновенія металловъ съ жидкостями. Явленіе весьма ясно обнаруживается помощью слѣдующей формы опыта, принадлежащей германскому ученому Буффу (1842). На электроскопъ (фиг. 497) навинчивается металлическій дискъ *a*,



Фиг. 497.

двѣ дюйма въ три въ діаметрѣ, на него кладется тонкій стеклянный дискъ нѣсколько большей величины, такъ что края его выступаютъ; помощью иголки на стекло налагается слой испытуемой жидкости, напримѣръ воды (или кладется дискъ изъ пропускной бумаги пропитанной жидкостью). Помощью проволоки изъ того самого металла изъ какого сдѣланъ дискъ, подносимой на изолирующей ручкѣ, приводятъ нижній дискъ въ соединеніе въ верхнюю жидкостью. Удаливъ проволоку, не замѣчаютъ признаковъ электричества (электричества развившіяся на дискѣ и въ слое жидкости связаны взаимнымъ притяженіемъ, какъ въ конденсаторѣ). Но если поднять стеклянный дискъ съ покрывающимъ его слоемъ жидкости, то листы расходятся. Если дискъ изъ цинку, а жидкость вода, то дискъ оказывается получившимъ отрицательное электричество: вода, слѣдовательно, наэлектризовалась положительно.

По измѣреніямъ германскаго ученаго Кольрауша и другихъ, электрическое напряженіе обнаруживающееся при прикоснове-

ніи металловъ съ жидкостями не уступаетъ развивающемуся въ случаѣ прикосновенія металловъ, а иногда превышаетъ его.

Нѣкоторые ученые, считая болѣе естественнымъ развитіе электричества въ случаѣ прикосновенія тѣлъ имѣющихъ стремленіе химически дѣйствовать одно на другое, какъ металлы и жидкости, чѣмъ тѣлъ химически индифферентныхъ, какъ два металла, полагаютъ что электричество обнаруживающееся въ случаѣ прикосновенія металловъ имѣетъ свой источникъ въ прикосновеніи металла съ влажнымъ воздухомъ, облегающимъ металлъ слоемъ болѣе или менѣе сгущеннымъ при его поверхности. Газовый слой въ случаѣ цинка приобретаетъ положительное электрическое напряженіе, тогда какъ самъ цинкъ электризуется отрицательно. Электричества связаны и не обнаруживаютъ дѣйствія. Накладывая цинковый дискъ на мѣдный (электризирующійся отъ облегающаго его слоя значительно менѣе цинка), чрезъ точки прикосновенія сообщаемъ отрицательное электричество отъ цинка мѣди. При раздѣленіи дисковъ, вслѣдствіе уменьшившагося количества отрицательнаго электричества цинка, положительное электричество слоя становится свободнымъ, и цинкъ кажется наэлектризованнымъ положительно. *)

§ 350. Собственно животное электричество. Электрическія рыбы. Гальвани, возражая противъ объясненій Вольты, сдѣлалъ (1793) важный опытъ, свидѣтельствующій что содрганія лапки лягушки могутъ быть произведены безъ всякаго посредства металловъ, чрезъ простое прикосновеніе нерва къ мускулу. „Перережемъ, говоритъ онъ, нервы около самаго мѣста выхода ихъ изъ позвоночнаго канала, и не погружая ихъ въ какую-либо жидкость, не подвергая вообще никакому извнѣющему вліянію, помѣстимъ препаратъ такъ чтобы они свободно висѣли отъ края тазика на который положенъ препаратъ. Приведемъ затѣмъ ихъ въ прикосновеніе съ вѣшней поверхностью бедра,—или приподымаемъ ихъ помощью непроводника и позволяемъ затѣмъ падать, или осторожно приводя тѣмъ же способомъ до прикосновенія съ мускуломъ, насколько можно, въ одномъ пунктѣ. Тотчасъ обнаруживаются содрганія въ лапкахъ... Обыкновенно разъ до четырехъ и даже больше можно получить одинъ за другимъ подобныя содрганія если лягушка сильна и только-что препарирована; впрочемъ явленіе постоянное на лягушкахъ болѣе чѣмъ средней величины, по причинѣ большей длины нервовъ. Опытъ удается, хотя и не столь прекрасно, если загнуть одинъ только нервъ до прикосновенія съ соответствующей „ножкой, которая, понятно, одна и содргается

*) Прибавимъ что, согласно опытамъ англійскаго ученаго Гроува (1843), подтвержденнымъ другимъ англійскимъ ученымъ Гасціотомъ, одно тѣсное сближеніе разнородныхъ металлическихъ дисковъ, безъ непосредственнаго прикосновенія, сопровождается уже электризованіемъ.

въ такомъ случаѣ.“ Вольта видѣлъ и въ этомъ опытѣ случай возбужденія электричества чрезъ прикосновеніе разнородныхъ тѣлъ, принимая въ соображеніе что, — какъ было имъ на сто способовъ доказано, — самой малой разницы въ какомъ-либо пунктѣ поверхности, совершенно незамѣтной разнородности приводимыхъ въ прикосновеніе мокрыхъ проводниковъ достаточно чтобы возбудить и привести въ движеніе электрическую жидкость въ такой мѣрѣ, что она действительно можетъ потрясти отлично препарированную и особенно воспримчивую къ раздраженію лягушку.“ Дальнѣйшія изслѣдованія ученыхъ (Нобили въ 1827 году, затѣмъ Маттеучи, Дюбуа-Реймона въ сороковыхъ годахъ) показали что жизненные явленія действительно сопровождаются возбужденіемъ электричества и что въ мускулахъ и нервахъ существуютъ электрическіе токи, обнаруживаемые и изучаемые помощію гальванометра, о чемъ ниже.

Внутреннее возбужденіе электричества въ организмѣ у некоторыхъ существъ, имѣющихъ особые *электрическіе органы*, достигаетъ значительной силы, такъ что они способны давать, при надлежащемъ прикосновеніи къ нимъ, удары подобные ударамъ лейденкой батареи изъ многихъ банокъ не сильно заряженныхъ. Таковы *электрическія рыбы*: гимнотъ или суринамскій угорь (*gymnotus*), очень распространенный въ Оrenoко, электрическій скатъ (*raja torpedo*) въ Средиземномъ морѣ, электрическій сомъ (*silurus electricus*) въ водахъ Нила и въ Сенегалѣ. Уже Мюшенбрекъ сравнивалъ удары даваемые скатомъ съ ударами лейденской банки. Но англійскій ученый Уельшъ (Walsh), членъ Лондонскаго Королевскаго Общества и членъ парламента, первый доказалъ прямыми опытами электрическій характеръ дѣйствій обнаруживаемыхъ упомянутыми животными. „Живой скатъ (такъ описываетъ опыты Уельша секретарь Академіи въ Ла-Рошелѣ и мэръ этого города въ письмѣ въ *Gazette de France* осенью 1772 года) былъ положенъ на столѣ. Вокругъ стола стояло пять человѣкъ на изолированныхъ подставкахъ. Двѣ мѣдныя проволоки, каждая 13 футовъ длиною висѣли на шелковыхъ шнурахъ прикрѣпленныхъ къ потолку. Одна изъ проволокъ однимъ концомъ оставалась на мокрой салфеткѣ, на которой лежала рыба; другимъ же концомъ опущена была въ сосудъ съ водой, поставленный на второмъ столѣ, гдѣ стояли еще четыре такихъ же наполненныхъ водою сосудовъ. Первый наблюдатель опускалъ палецъ одной руки въ сосудъ гдѣ погруженъ конецъ проволоки; палецъ другой руки во второй сосудъ; второй наблюдатель опускалъ палецъ одной руки въ этотъ второй сосудъ, палецъ другой въ третій и такъ далѣе, такъ что всѣ пять особъ были въ сообщеніи между собою помощію воды сосудовъ. Въ послѣдній сосудъ пущенъ былъ конецъ второй проволоки, другимъ же ея концемъ г. Уельшъ прикоснулся снизу ската: всѣ пять особъ почувствовали согреваніе, ничѣмъ кромѣ градуса силы не отличавшееся отъ удара лейденской банки. Г. Уельшъ, не бывшій въ цѣпи, не получилъ

удара... Дѣйствіе ската сообщается чрезъ тѣ же среды какъ дѣйствіе электрической жидкости. Тѣла пресѣкающія дѣйствіе послѣдней пресѣкаютъ одинаковымъ образомъ и дѣйствіе перваго. Дѣйствія производимыя скатомъ во всемъ сходны съ несильнымъ электричествомъ.“ Электрическій органъ ската расположенъ у головы; чтобы получить ударъ (зависящій впрочемъ отъ воли животнаго), надо коснуться съ одной стороны спины, съ другой груди.

Любопытные опыты надъ гимнотомъ были произведены Фарадеемъ въ 1838 году. Политехническій Институтъ въ Лондонѣ выписалъ изъ Америки гимнота для привлеченія посѣтителей въ свои галлерей. Директоры учрежденія, для пользы науки, предоставили его въ распоряженіе Фарадея, которому удалось, безъ вреда для животнаго, извлечь изъ этой живой электрической машины всѣ обыкновенныя электрическія явленія — искру, магнитныя и химическія дѣйствія. „Гимнотъ *) былъ слѣпой. Онъ кружился въ своемъ чану медленнымъ, правильнымъ, непрерывнымъ, машинальнымъ и какъ бы равнодушнымъ движеніемъ. Но какая однако бдительность и ловкость! Бросили живую рыбу въ центръ чана, возможно далеко отъ угря; едва касалась она поверхности воды, какъ была поражена невидимымъ ударомъ и плавала недвижно на спинѣ. Гимнотъ между тѣмъ прерывалъ свою прогулку вокругъ, приближался къ мѣсту происшествія, открывалъ ротъ и сильнымъ движеніемъ производилъ потокъ, привлекавшій къ нему добычу, которой онъ не видалъ и которую проглатывалъ, головою впередъ, какъ пилюлю. Затѣмъ неторопливо продолжалъ прерванную прогулку.“ О значеніи животнаго электричества вообще Фарадей, по свидѣтельству Дюма, говорилъ такъ: „Живыя существа производятъ теплоту, тождественную, конечно, съ теплотой нашихъ очаговъ, почему же не могутъ они производить электричество равнымъ образомъ тождественное съ электричествомъ нашихъ машинъ? Но если теплота, производимая во время жизни и необходимая для жизни, не есть самая жизнь, почему же электричество будетъ жизнью? Какъ теплота, какъ химическія дѣйствія, электричество только орудіе жизни, не болѣе.“

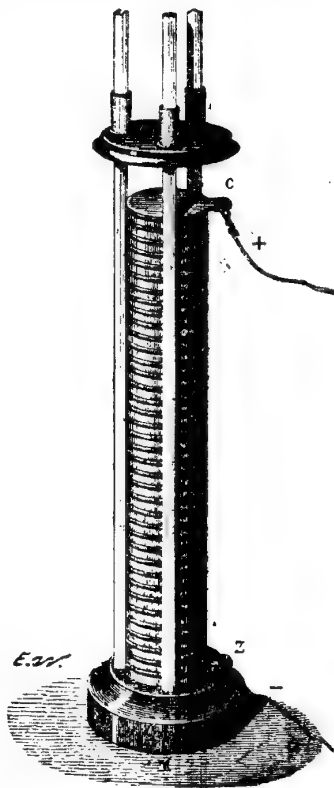
§ 351. Вольтовъ столбъ или гальваническая батарея.

Проникшись мыслию что жидкость въ его опытахъ служитъ только проводникомъ и не имѣетъ значенія возбuditеля, Вольта, дабы усилить дѣйствіе на электроскопъ, сталъ „вмѣсто одной пары цинка и серебра или цинка и мѣди брать двѣ, три, четыре такихъ

*) Слова секретаря Парижской Академіи Наукъ Дюма въ похвальномъ словѣ Фарадею.

пары." Чтобы заставить их действовать совокупно, онъ остановился на такомъ приѣмѣ: „клатъ серебряную монету, на нее кружокъ цинка, поверхъ его кружокъ картона, сукна или другаго скважистаго тѣла смоченнаго водою; повторялъ далѣе наложение въ томъ же порядкѣ и увеличивая число слоевъ, устроилъ столбъ или колонну большей или меньшей высоты“... „Это былъ, замѣчаетъ Вольтъ, великій шагъ, который привелъ меня, въ концѣ 1799 года, къ устройству новаго аппарата, который я называлъ *электро-двигателемъ* (electro - moteur), который поразилъ удивленіемъ всѣхъ физиковъ, доставивъ мнѣ величайшее удовлетвореніе, не будучи впрочемъ для меня неожиданностію, такъ какъ сдѣланное мною открытіе (замѣтнаго на электро-скопѣ электричества отъ прикосновенія) заранее гарантировало успѣхъ опыта.“

Столбъ (фиг. 498) не только обнаружилъ электрическое напряженіе на концахъ пропорціонально числу паръ (для этого Вольтъ сообщалъ вершину столба съ конденсаторомъ, а основаніе соединялъ прикосновеніемъ рукъ или инымъ способомъ съ землею), но и представилъ другія, въ



Фиг. 498.

высшей степени замѣчательныя явленія. Такъ, если наблюдатель, приложивъ нѣсколько влажные пальцы одной руки къ одному концу столба, прикасался пальцами другой къ другому его концу, то онъ чувствовалъ сотрясеніе подобное производимому лейденскою банкой, очень слабо заряженной, или утомленнымъ электрическимъ скатомъ.“ Если провести проволоку отъ концовъ столба, прикасаться ими одна къ другой и опять раздѣлять, то обнаруживается искра. Опытъ показалъ далѣе что дѣйствіе снаряда значительно усиливается если, вмѣсто чистой воды, употребляли, въ качествѣ жидкости смачивающей скважистые кружки, соляной растворъ или воду съ прибавленіемъ сѣрной или иной кислоты. „Такія жидкости, замѣчаетъ Вольтъ, не увеличиваютъ собственно электрической силы, но облегчаютъ движеніе электрической жидкости, давая ей болѣе свободный проходъ, такъ какъ онѣ значительно лучше проводники чѣмъ чистая вода.“

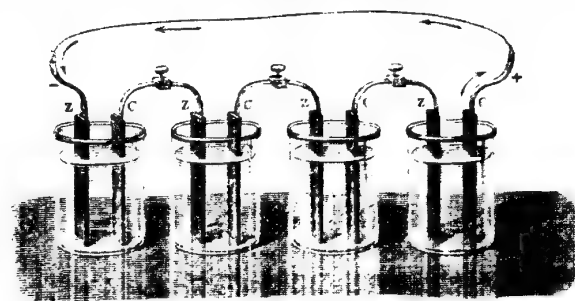
Сообщая о своемъ открытіи Лондонскому Королевскому Обществу (въ письмѣ на имя его президента), Вольтъ (1800) въ такихъ выраженіяхъ описываетъ замѣченные имъ явленія: „Послѣ долгаго молчанія, въ которомъ не смѣю оправдываться, имѣю удовольствіе сообщить вамъ, а чрезъ васъ Королевскому Обществу, нѣсколько поразительныхъ результатовъ достигнутыхъ мною при изслѣдованіи электричества возбуждаемаго простымъ взаимнымъ прикосновеніемъ разнородныхъ металловъ или даже иныхъ разныхъ проводниковъ, или жидкихъ или содержащихъ какую-либо влагу, которой они обязаны своею проводимостію. Главный результатъ, вмѣщающій въ другіе, есть построеніе снаряда, сходнаго по своимъ дѣйствіямъ, — т.-е. по своей способности производить содроганіе въ рукахъ, — съ лейденскою банкой или, точнѣе, съ электрическою батареею слабо заряженною, но дѣйствующею непрерывно, въ которой зарядъ послѣ cadaго разряда самъ собою возобновляется; которая, однимъ словомъ, имѣетъ какъ бы неисчерпаемый зарядъ, оказывая постоянное гонящее дѣйствіе на электрическую жидкость; но которая существенно отличается отъ обыкновенной батареи и этимъ постоянствомъ дѣйствія ей свойственнымъ, и тѣмъ еще что вмѣсто того чтобы состоять, какъ обыкновенныя электрическія банки и батареи, изъ одного или многихъ тонкихъ слоевъ изолирующихъ тѣлъ, — единственно считающихся

электрическими, — обложенных проводниками, или тѣлами называемыми *неэлектрическими*, составленъ единственно изъ проводниковъ, и притомъ выбранныхъ между лучшими; наиболѣе слѣдовательно удаленными, согласно тому какъ всегда думали, отъ электрической природы. Да, снарядъ о которомъ говорю, и это удивитъ васъ безъ сомнѣнія, есть не иное что какъ собраніе хорошихъ проводниковъ разнаго рода, расположенныхъ определеннымъ образомъ. Двадцать, сорокъ, шестьдесятъ кружковъ мѣди или еще лучше серебра, сложенныхъ каждый съ кружкомъ олова или лучше цинка, и такое же число слоевъ воды или какой иной жидкости лучше проводящей чѣмъ вода, какъ напримѣръ соляной растворъ, щелокъ и т. под.; или кусковъ картона, кожи и т. под., хорошо смоченныхъ этими жидкостями; причемъ такіе слои налагаются между каждою парой или соединеніемъ двухъ разнородныхъ металловъ: вотъ все что составляетъ мой новый инструментъ, подражающій, какъ я сказалъ, дѣйствию дѣйствию лейденской банки или батареи, — дающій подобныя сотрясенія какъ и онѣ. Правда, дѣйствіе снаряда относительно силы, стука разряда, его искры и разстоянія на какомъ она происходитъ, значительно слабѣ дѣйствія батареи сильно заряженной и равняется только дѣйствию очень слабо заряженной батареи, имѣющей за то громадную емкость и безконечно превосходящей силу обыкновенныхъ батарей въ томъ отношеніи что не нуждается въ предварительномъ зарядѣніи помощію посторонняго электричества и можетъ давать сотрясеніе при каждомъ прикосновеніи, надлежащимъ образомъ сдѣланномъ, сколько бы разъ такіа прикосновенія ни повторялись. Вольта прибавляетъ что по его мнѣнію снарядъ имѣетъ сходство, — болѣе даже чѣмъ съ лейденскою банкой, — съ электрическимъ органомъ электрическаго ската, угря и т. под. и предлагаетъ назвать свой снарядъ *искусственнымъ электрическимъ органомъ*.

Концы Вольтова снаряда, называемаго *Вольтовымъ столбомъ* или *гальванической батареей*, именуются *полюсами*. При первоначальномъ расположеніи снаряда, т. е. когда столбъ начинается и оканчивается двумя металлическими пластинками, на цинковомъ концѣ обнаруживается *положительное* электричество на концѣ же, гдѣ другой металлъ, мѣдь, серебро и т. под. — *отрицательное*. Если снять по одной пластинкѣ съ концовъ, такъ что столбъ представитъ, напримѣръ, такую послѣдовательность частей: мѣдь, смоченная бумажка, цинкъ; опять мѣдь, бумажка, цинкъ и такъ далѣе до конца, гдѣ поверхъ послѣдней

бумажки будетъ цинкъ, — то полярность концовъ отъ этого не измѣнится, и слѣдовательно мѣдный кружокъ будетъ представлять собою *положительный*, цинковый — *отрицательный* полюсъ. Когда полюсы приведены въ соединеніе помощію проводящихъ тѣлъ, то образуется *гальванический кругъ* или *гальваническая цепь*. Электрическое состояніе такой замкнутой цепи именуется *токомъ*. Согласно теоріи жидкостей, цепь можно разсматривать какъ каналъ, въ которомъ происходитъ движеніе электричества: вращающійся потокъ положительнаго электричества и другой, въ обратномъ направленіи идущій потокъ отрицательнаго *). *Направленіе тока* считается въ соединительномъ проводникѣ отъ положительнаго полюса къ отрицательному, а слѣдовательно въ самой батарее отъ отрицательнаго къ положительному.

Вольта ввелъ еще другое, болѣе удобное расположеніе своего снаряда, нынѣ исключительно употребляемое въ гальваническихъ батареяхъ. Смоченныя

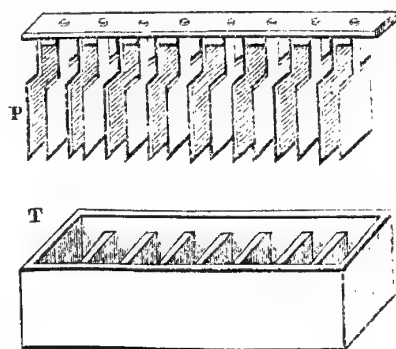


Фиг. 499.

бумажки замѣняются жидкостію налитой въ стаканы, куда погружаются разнородные металлы. Каждый

* Некоторые ученые разсматриваютъ цепь какъ рядъ послѣдно наэлектризованныхъ частейъ непрерывно разряжающихся (положительное электричество одной соединяется съ отрицательнымъ второй, положительное второй съ отрицательнымъ третьей и т. д. и вновь полярно заряжающихся).

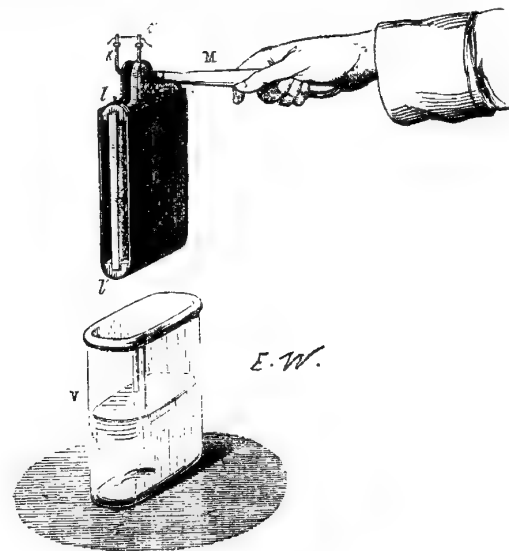
такой стаканъ есть *элементъ* батареи. Соединивъ проволоками разнородные металлы отъ элемента къ элементу (мѣдь, напримѣръ, перваго элемента съ цинкомъ втораго, мѣдь втораго съ цинкомъ третьяго и т. д.), такъ что свободными останутся металлы крайнихъ элементовъ, получимъ гальваническую батарею (фиг. 499), очевидно соответствующую столбу втораго расположенія. На цинкѣ будетъ *отрицательный*, на мѣди *положительный* полюсъ. Что цинковый полюсъ есть *отрицательный* (хотя цинкъ и именуется электро-положительнымъ металломъ, ибо отъ прикосновенія съ мѣдью, платиной и т. под. приобретаетъ положительное электричество) полезно держать въ памяти, такъ какъ цинкъ входитъ составною частью во всѣхъ употребительныхъ гальваническихъ элементахъ.



Фиг. 500.

Чтобъ удобнѣе было приводить снарядъ въ дѣйствіе, цинковые и мѣдныя доски стали прикрѣплять къ одной деревянной перекладинѣ, соединяя ихъ надлежащимъ образомъ и заразъ опуская въ подставленные отдѣльные сосуды или въ общій ящикъ (фиг. 500) раздѣленный перегородками на отдѣльныя камеры, наполняемая водою съ кислотою. Такъ, напримѣръ, была устроена въ 1808 году огромная батарея изъ 2000

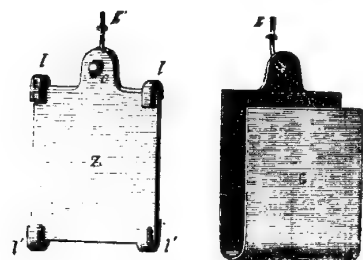
элементовъ въ Лондонскомъ Королевскомъ Институтѣ, по подпискѣ частныхъ жертвователей, послѣ того какъ Деви (1807) помощію батареи въ 250 элементовъ сдѣлалъ свое знаменитое открытіе новыхъ металловъ. Ящики были фаянсовые съ таковыми же перегородками.



Фиг. 501.

Вульстенъ сдѣлалъ важное усовершенствованіе въ устройствѣ элементовъ, давъ доскамъ цинка и мѣди не одинаковую величину, именно загибая мѣдную доску такъ что она съ обѣихъ сторонъ облекаетъ цинковую и имѣетъ противъ нея двойную поверхность (на фиг. 502 доски представлены въ отдѣльности). Сила тока, получаемого при соединеніи полюсовъ проводникомъ, чрезъ это значительно увеличивается. Фиг. 501 изображаетъ такой *элементъ Вульстена*. Употребляемая жидкость есть вода съ сѣрною кислотою: одна часть кислоты по 10—15 частей, по объему, воды. Батарея составляется изъ паръ придѣ-

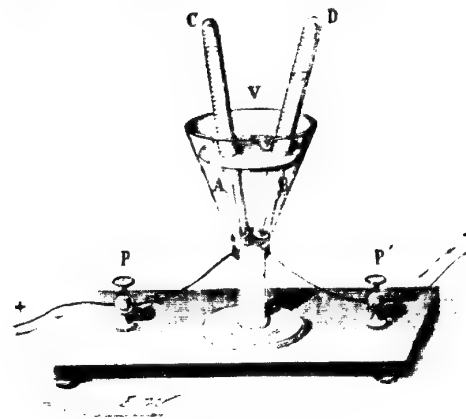
ланныхъ къ общей перекладинѣ подобно тому какъ изображено на фиг. 500.



Фиг. 502.

§ 352. Открытіе химическихъ дѣйствій Вольтова столба. Открытіе химическихъ дѣйствій Вольтова столба было сдѣлано англійскими учеными Карлейлемъ и Никольсономъ въ Лондонѣ вскорѣ послѣ того какъ сдѣлалось извѣстнымъ изобрѣтеніе Вольты. „30 апрѣля (1800) Карлейль приготовилъ Вольтовъ столбъ изъ 17 полукронъ (серебряныхъ монетъ) и равнаго числа цинковыхъ кружковъ и кружковъ бумаги смоченной соленою водой.“ Наблюдатели замкнули столбъ помощью проволоки проведенной отъ нижняго его конца (гдѣ былъ отрицательный полюсъ) къ верхнему концу; чтобы тѣснѣе было сообщеніе съ верхнимъ полюсомъ на верхней пластинкѣ была помещена капля воды, куда и опускался конецъ соединительной проволоки. „Карлейль замѣтилъ, пишетъ Никольсонъ, что вокругъ прикасавшейся къ водѣ проволоки сталъ отдѣляться газъ, который, какъ ни мало его было, показался мнѣ имѣющимъ запахъ подобный водороду; проволока была изъ стали. Этотъ и другіе опыты побудили насъ провести гальваническій или электрическій токъ чрезъ двѣ мѣдныя проволоки, концы которыхъ чрезъ пробки, затыкавшія съ двухъ концовъ стеклянную трубочку, около полдюйма шириною, наполненную свяжею рѣчною водой, были введены внутрь трубочки и разстояли на $1\frac{3}{4}$ дюйма одинъ отъ другаго. Одна

изъ проволокъ была приведена въ прикосновеніе съ верхнимъ, другая съ нижнимъ кружкомъ столба состоявшаго изъ 36 полукронъ и такого же числа цинковыхъ и бумажныхъ кружочковъ. Тотчасъ въ трубкѣ отъ конца нижней, соединенной съ отрицательнымъ полюсомъ проволоки поднялся тонкій потокъ маленькихъ газовыхъ пузырьковъ, между тѣмъ какъ кончикъ верхней проволоки началъ тускнѣть, сдѣлался прежде темно-оранжевымъ, затѣмъ чернымъ.“ Черезъ два съ половиною часа было собрано небольшое количество газа (съ небольшимъ кубическій центиметръ), оказавшагося водородомъ. Очевидно, произошло разложеніе воды на кислородъ и водородъ, изъ которыхъ водородъ одинъ могъ быть собранъ, ибо кислородъ соединился съ мѣдью, окисливъ кончики проволоки у которой онъ образовался. „Не мало удивило насъ, прибавляетъ Никольсонъ что водородъ выдѣлялся на одномъ концѣ, тогда



Фиг. 503.

какъ кислородъ на другомъ, отстоявшемъ отъ перваго на два почти дюйма.“ Чтобы получить оба газа

въ отдѣльности, Никольсонъ замѣнилъ мѣдныя проволоки платиновыми, расположивъ снарядъ приблизительно какъ онъ употребляется и нынѣ и какъ изображенъ на фиг. 503. Подобные снаряды, сдѣлавъ ихъ измѣрительными, Фарадей наименовалъ *вольтаметрами*. Согласно составу воды объемъ выделяющагося водорода вдвое болѣе объема получаемого кислорода. Въ снарядѣ изображенномъ на фиг. 503 газы собираются въ отдѣльныхъ трубкахъ, но можно собирать ихъ и въ одной прикрывъ ею заразъ обѣ платиновыя проволоки или пластинки. Прибавимъ что разложение чистой воды требуетъ батареи большой силы, но если прибавить къ водѣ сѣрной кислоты, то достаточно немногихъ элементовъ дабы произвести дѣйствіе.

Дѣйствіемъ тока разлагаются не только вода, но и многія другія тѣла, напримѣръ, металлическія соли. Если опустить соединенныя съ полюсами батареи платиновыя пластинки въ растворъ синяго мѣднаго купороса, то на пластинкѣ соединенной съ отрицательнымъ полюсомъ станетъ освобождаться мѣдь, покрывая пластинку краснымъ слоемъ; на положительной обнаружатся пузырьки кислороднаго газа. При разложеніи уксусокислаго свинца, на отрицательномъ полюсѣ выделяется этотъ металлъ, и если платиновый конецъ имѣетъ форму проволоки, то осѣданіе частицъ выделяемаго свинца происходитъ дровидно. За процессомъ удобно слѣдить, если производить разложение въ маленькомъ сосудѣ съ параллельными стеклянными стѣнками и, освѣтивъ сосудъ электрическимъ свѣтомъ, наблюдать явленіе въ проложеніи, въ большомъ видѣ, на экранѣ.

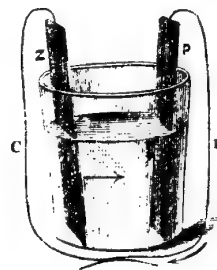
Прибавимъ что процессъ разложенія дѣйствіемъ электрическаго тока называется *электролизомъ*, разлагаемое тѣло—*электролитомъ*, опускаемыя въ жидкость металлическія концы—*электроды* *).

*) Термины эти введены Фарадеемъ. Электродъ, чрезъ который входитъ токъ (то-есть который соединенъ съ положитель-

§ 353. Химическія дѣйствія внутри самой батареи. Внутри самой гальванической батареи происходитъ рядъ химическихъ явленій, имѣющихъ существенное значеніе для дѣйствія снаряда. Составимъ гальваническій элементъ, опустивъ въ сосудъ съ разжиженной сѣрной кислотой пластинку цинка и пластинку платины. Если цинкъ химически чистъ или если онъ амальгамированъ на поверхности (чрезъ погруженіе въ ртуть или чрезъ натираніе ртутью, которая его легко смачивается), то пока пластинки не касаются гдѣ либо ме-



Фиг. 504.



Фиг. 505.

жду собою—никакого дѣйствія не замѣчается *). Но если привести въ прикосновеніе концы ихъ (фиг. 504)

нымъ полюсомъ называется *анодъ*, чрезъ который выходитъ—*катодъ*.

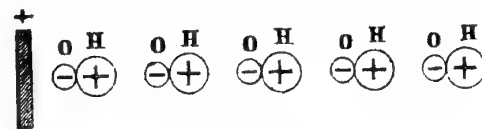
*) Кусокъ обыкновеннаго продажнаго цинка, будучи опущенъ въ разжиженную сѣрную кислоту, тотчасъ начинаетъ разлагать воду и отдѣлять водородъ. Явленіе объясняютъ тѣмъ что въ толщѣ нечистаго цинка находятся частицы другихъ металловъ (желѣза), почему при погруженіи въ жидкость образуются мѣстные замкнутые токи, порождающіе разложение воды и раствореніе цинка. Почему амальгамированный цинкъ приобретаетъ свойства химически чистаго и даже предпочтительнѣе послѣдняго, ибо по замыканіи дѣйствуетъ съ болѣею энергіей, растворяясь быстрѣе,—еще не достаточно объяснено. Свойства амальгамированнаго цинка открыты Деви 1826.

(тѣ которые въ жидкости или тѣ которые погружены въ нее) или если соединить ихъ помощію проволоки (фиг. 505), то тотчасъ обнаружится появленіе пузырьковъ водороднаго газа, поднимающихся отъ платины, и постепенное окисленіе и раствореніе цинка. Пока продолжается прикосновеніе, то-есть элементъ замкнутъ и въ немъ проходитъ токъ, продолжается и химическое дѣйствіе, начинающееся и прекращающееся съ наступленіемъ и прекращеніемъ тока. Раствореніе цинка и выдѣленіе водорода происходятъ и въ гальванической батарее имѣющей форму столба, но тамъ оно не столь явственно замѣтно.

§ 354. Общій характеръ химическихъ дѣйствій тока. Теорія Гротхуза. Внимательно наблюдая какъ происходитъ разложеніе дѣйствіемъ тока, не трудно замѣтить что дѣятельность разложенія обнаруживается лишь въ тѣхъ мѣстахъ гдѣ электроды касаются жидкости; въ пространствѣ же между электродами жидкость, повидимому, не претерпѣваетъ никакихъ измѣненій. Казалось бы что при каждомъ изъ электродовъ должны выдѣлиться оба составные элемента тѣла, на какіе оно разлагается. Между тѣмъ при разложеніи, напримѣръ, воды, на одномъ электродѣ появляется лишь кислородъ, на другомъ лишь водородъ. Даже если одинъ электродъ находится въ одномъ сосудѣ, другой въ другомъ, самые же сосуды соединены между собою сифономъ наполненнымъ водою, — газы получаемаго водорода, на всемъ же протяженіи отъ электрода къ электроду, какъ въ сосудахъ, такъ и въ соединительной трубкѣ, ни малѣйшаго перехода газовъ не замѣтно. Куда же дѣвается, накопляется кислородъ? Чтобы разъяснить этотъ вопросъ припомнимъ *) и нынѣ, въ ея основной мысли, общепринятой. Къ этой теоріи Гротхузъ былъ приведенъ слѣдующимъ размышленіемъ. „Вольтовъ столбъ, замѣчаетъ онъ, обезсмертившій геній его изобрѣтателя, есть какъ бы электрическій магнитъ, котораго каждый элементъ, т.-е. каждая пара кружковъ, имѣетъ своей поности породило во мнѣ мысль, не устанавливается ли подобная же полярность и среди элементарныхъ частицъ воды, побуждаемыхъ

*) Литовскій уроженецъ, занимался науками (1803 — 1808) за границей. Вернувшись на родину, поселился въ своемъ имѣніи; убилъ себя въ меланхоліи, въ 1822 году.

тѣмъ же электрическимъ дѣйтелемъ. Признаюсь это было для меня проблемомъ свѣта... Представимъ себѣ что въ моментъ начинающагося раздѣленія водорода съ кислородомъ въ этихъ двухъ тѣлахъ, — вслѣдствіе ли прикосновенія, вслѣдствіе ли тренія одного о другое, — происходитъ разложеніе ихъ естественнаго электричества, такъ что водородъ приобретаетъ положительное электрическое состояніе, кислородъ — отрицательное *). Отсюда слѣдуетъ что полюсъ доставляющій отрицательное электричество (отрицательный электродъ) притянетъ водородъ, отталкивая кислородъ, тогда какъ положительный (электродъ) притянетъ кислородъ, отталкивая водородъ... Представимъ же себѣ нѣкоторое количество, воды составленной изъ кислорода означеннаго знакомъ — и водорода отнѣченнаго знакомъ + (фиг. 506). Какъ скоро установится гальваническій токъ въ



Фиг. 506.

воду, электрическая полярность обнаружится въ ея элементарныхъ частицахъ, такъ что онѣ какъ бы будутъ составлять дополненіе дѣйствующаго столба. Всѣ частицы кислорода лежація на пути тока получатъ стремленіе перенестись на положительный полюсъ (электродъ), тогда какъ всѣ частицы водорода, лежація на томъ же пути, будутъ стремиться къ отрицательному полюсу. Отсюда слѣдуетъ что какъ скоро частица воды ближайшая къ положительному полюсу отдастъ свой кислородъ привлекаемый положительною жидкостію этого полюса, ея водородъ тотчасъ вновь окислится, соединясь съ кислородомъ второй частицы, водородъ который соединяется съ кислородомъ третьей и т. д., и т. д. *. Последняя водородная частица останется свободною при отрицательномъ полюсѣ. Такимъ образомъ на протяженіи между электродами происходитъ рядъ послѣдовательныхъ разложеній и восстановленій частицъ воды; свободные газы выдѣляются лишь при полюсахъ.

§ 355. Общій обзоръ явленій представляемыхъ Вольтовымъ столбомъ. Явленія электрическаго напряженія въ незамкнутомъ столбѣ. Гальваническая батарея представляетъ два рода явленій: 1) электрическое напряже-

*) Нынѣ принимается что электрическая полярность частицъ воды и иныхъ тѣлъ есть постоянное ихъ свойство и не приобщается только въ моментъ предшествующій разложенію какъ принимаетъ Гротхузъ. Источники полярности обыкновенно видятъ въ прикосновеніи разнородныхъ атомовъ.

ние, обнаруживающееся пока цѣпь не замкнута, и 2) токъ или движеніе электричества, наступающее когда цѣпь замкнута, способное, какъ мы видѣли, производить нагреваніе, физиологическія и химическія дѣйствія. Электрическое напряженіе есть начальное условіе образованія тока; сила тока опредѣляется энергіею химическихъ процессовъ, происходящихъ въ замкнутой цѣпи. Могутъ быть батареи дающія, когда замкнуты, сильные токи и между тѣмъ обнаруживающія, когда не замкнуты, самое слабое электрическое напряженіе, и иныя, показывающія значительное напряженіе, когда не замкнуты, и весьма слабый токъ, будучи замкнуты.

Главнѣйшія явленія электрическаго напряженія, какія представляетъ *незамкнутый* столбъ или незамкнутая гальваническая батарея, суть слѣдующія: 1) если одинъ конецъ батареи, напримѣръ нижній кружокъ вертикальнаго столба, сообщенъ съ землею, то весь столбъ заряжается однимъ электричествомъ, однимъ именнымъ съ электричествомъ не соединеннаго съ землею полюса. Его напряженіе возрастаетъ постепенно, начиная отъ полюса сообщеннаго съ землею гдѣ оно равно нулю и до изолированнаго полюса гдѣ оно пропорціонально числу паръ батарей. 2) Если оба конца батареи изолированы, то въ одной половинѣ снаряда, прилегающей къ положительному полюсу, оказывается возрастающее къ концу положительное электричество, въ другой отрицательное. Они раздѣлены полюсомъ безразличія, гдѣ напряженіе равно нулю; напряженіе же при полюсахъ вдвое менѣе чѣмъ въ случаѣ когда полюсъ противоположный съ разсматриваемымъ соединенъ съ землею.

§ 356. Объясненіе явленій электрическаго напряженія незамкнутого столба изъ началъ теоріи прикосновенія указанный Вольтою. Вольта объясняетъ явленія электрическаго напряженія незамкнутого столба, принимая гипотезу одной электрической жидкости, и допуская, что если два металла

A и *B* приведены въ прикосновеніе, то (вслѣдствіе неодинаковаго, какъ поясняютъ новѣйшіе ученые, притяженія частицъ электричества частицами того и другаго изъ этихъ тѣлъ) нѣкоторое количество жидкости переходитъ съ одного на другое; положимъ съ *B* на *A* (такъ будетъ, напримѣръ, если *B* мѣдь, *A* цинкъ). Вслѣдствіе такого перехода, тѣло принимающее электричество электризуется положительно (избытокъ электричества), отдающее—отрицательно (недостатокъ электричества). Чѣмъ значительнѣе величина тѣла *B*, отдающаго электричество, тѣмъ значительнѣе количество электричества перейдетъ на *A*. Поэтому электрическое напряженіе *A* будетъ наибольшее, если *B* соединено съ землею и слѣдовательно представляетъ собою какъ бы одинъ проводникъ огромныхъ размѣровъ *). Подобнымъ образомъ, чѣмъ значительнѣе размѣры тѣла *A*, принимающаго электричество, тѣмъ менѣе электричества остается въ отдающемъ, тѣмъ значительнѣе отрицательное наэлектризованіе послѣдняго.

Представимъ себѣ, теперь, что, устроивая столбъ мы кладемъ въ основаніе кружокъ мѣди, и пусть этотъ кружокъ соединенъ съ землею. На него помѣщаемъ кружокъ цинка. Цинкъ получаетъ положительное наэлектризованіе, напряженіе котораго, то-есть толщина электрическаго слоя, въ данномъ случаѣ будетъ тѣмъ болѣе чѣмъ болѣе приобѣтенное количество электричества. Означимъ его $+a$. Какъ скоро поверхъ цинка помѣщены кружокъ смоченной палки и на немъ кружокъ мѣди, то эти тѣла, какъ проводники, принимаютъ часть электричества отъ цинка. Но взятое электричество тотчасъ возобновляется отъ мѣди соединенной съ землею, и такъ продолжается пока установится равновѣсіе напряженій: палка и мѣдь приобѣтутъ въ соотвѣствующихъ пунктахъ то же напряженіе $+a$. Положенный поверхъ мѣди новый кружокъ цинка, еслибы между нимъ и мѣдью не было электро-возбудительнаго дѣйствія, приобѣлъ бы, какъ проводникъ, то же напряженіе $+a$. Но вслѣдствіе этого дѣйствія цинкъ долженъ имѣть избытокъ электричества сравнительно съ лежащею подъ нимъ мѣдью и потому если на мѣди напряженіе $+a$, то на цинкѣ оно должно быть больше: электричество будетъ продолжать переходить на цинкъ. При этомъ Вольта дѣлаетъ простѣйшее допущеніе, что переходъ продолжается до тѣхъ поръ пока избытокъ будетъ таковъ же какъ еслибы мѣдь не имѣла электрическаго напряженія (какъ при

*) Этими обстоятельствами объясняетъ Вольта почему опыты съ электричествомъ прикосновенія производится сравнительно легко въ формѣ указанной въ § 347 (когда цинкъ держится въ рукѣ и слѣдов. соединенъ съ землею), тогда какъ чрезъ прикосновеніе двухъ изолированныхъ кусковъ металловъ онъ не могъ обнаружить наэлектризованія, пока не напалъ на мысль дать кускамъ форму дисковъ, дѣйствующихъ какъ конденсаторъ и въ этомъ качествѣ способныхъ къ принятію большаго количества электричества.

основании столба, где она соединена с землею); другими словами, принимается (закон Вольты) что взаимодействие чрез прикосновение требует чтобы разность электрических напряжений прикасающихся телъ была постоянною, будет ли напряжение одного из них равно нулю (такъ бываетъ если оно соединено с землею) или поддерживаться при какой иной величинѣ *). Такъ какъ въ нашемъ случаѣ мѣдъ отъ ниже лежащихъ частей приобретаетъ электричество до тѣхъ поръ пока получаетъ напряжение $+a$, то верхній цинкъ долженъ имѣть напряжение $+2a$ (разность $2a - a = a$). Если наложимъ еще совокупность кружковъ папки, мѣди и цинка, то-есть прибавимъ еще пару, то напряжение на верхнемъ цинкѣ будетъ $+3a$. Вообще если число паръ n , то напряжение на верхнемъ цинкѣ будетъ $+na$, то-есть, согласно опыту, пропорціонально числу паръ.

Вольта, какъ не разъ уже упомянуто, принималъ что возбужденіе электричества въ мѣстахъ прикосновения металловъ съ жидкостью не замѣтно. Но если и возьмемъ въ расчетъ электрическое напряжение обнаруживающееся тамъ гдѣ цинкъ касается мокрой папки, то предыдущія разсужденія тѣмъ не менѣе сохраняютъ силу, и только осложняются тѣмъ обстоятельствомъ что накладываемой на цинкъ папкѣ должно быть приписано напряжение не a но $a + b$, вслѣдствіе прибавленія электричества отъ взаимодействия воды и цинка и т. д.

Не трудно также привести разсужденія въ теоріи двухъ жидкостей. Мы должны только говорить не объ избыткѣ и недостаткѣ электричества, а допустить что при прикосновении металловъ A и B , вслѣдствіе неравнаго притяженія ихъ частицъ къ частицамъ той и другой электрической жидкости, нѣкоторое количество положительнаго электричества переходитъ съ A на B ; тогда какъ нѣкоторое количество отрицательнаго поступаетъ съ A на B : вмѣсто перехода въ одномъ направленіи, разсматривать переходъ въ двухъ направленіяхъ.

Еслибы мы начали столбъ съ цинковаго кружка, то должны бы (по гипотезѣ одной жидкости) разсуждать такъ: цинкъ, будучи соединенъ съ землею, извлекаетъ изъ мѣди электричество до тѣхъ поръ пока отрицательное напряжение этой послѣдней сдѣлается $-a$. Когда наложены папка и второй цинкъ, мѣдъ заимствуетъ отъ нихъ нѣкоторое количество электричества; отрицательное напряжение мѣди становится потому не такъ значительно: нижній цинкъ получаетъ возможность извлечь новое количество. Такъ должно продолжаться пока на папкѣ и верхнемъ цинкѣ напряжение сдѣлается $-a$. Не трудно продолжить разсужденіе. По гипотезѣ двухъ жидкостей

*) Такимъ образомъ, допустивъ что разность напряженій должна равняться 10, по закону Вольты, заключаемъ что если на B напряжение $+8$, то на A должно быть $+18$ (ибо $18 - 8 = 10$); если на B напряжение -6 , то на A должно быть $+4$ (ибо $4 - (-6) = 10$); если на B напряжение -15 , то на A напряжение -5 (ибо $-5 - (-15) = 10$) и т. д.

ходъ разсужденія одинаковъ, тотъ ли или другой кружокъ вобразимъ внизу.

До сихъ поръ мы предполагали что нижній конецъ столба соединенъ съ землею. Но допустимъ что подставка столба изъ изолирующаго вещества, и кружки налагаются послѣдовательно, будучи, до прикосновения, ненаэлектризованы и переносимы на изолированныхъ ручкахъ. Если два изолированныхъ кружка, одинъ изъ мѣди другой изъ цинка, приводятся въ прикосновение, то цинкъ принимаетъ отъ мѣди положительное электричество, сообщая ей отрицательное наэлектризованіе. При этомъ напряжение на цинкѣ не можетъ достигъ величины $+a$, какъ въ случаѣ сообщенія мѣди съ землею, когда мѣдъ остается въ естественномъ состояніи, то-есть имѣетъ напряжение равное нулю. Такъ какъ по закону Вольты разность напряженій должна быть постоянно равна a , то назвавъ напряжение цинка x , напряжение мѣди y , имѣемъ условіе $x - y = a$. Кроме того $x + y = 0$, ибо общее количество электричества въ обоихъ кружкахъ осталось то же какое было до прикосновения, напряжения же при одинаковости формы прикасающихся частей можно принять пропорціональными количествами (считая положительное электричество со знакомъ $+$, отрицательное со знакомъ $-$). Отсюда $x = +\frac{a}{2}$, $y = -\frac{a}{2}$. Наложимъ

на первую пару совокупность кружковъ папки, мѣди и цинка; и назовемъ буквою x напряжение верхняго цинка. Согласно закону Вольты, напряжение подъ нимъ лежащаго кружка мѣди должно быть $x - a$. Оно не должно отличаться отъ напряжения ниже лежащихъ папки и цинка, такъ какъ, по предположенію, между этими кружками нѣтъ замѣтнаго взаимодействия и они какъ проводники принимаютъ общее напряжение; наонецъ напряжение нижней мѣди должно быть $x - 2a$ (дабы имѣть $x - a - x - 2a = -a$, какъ требуетъ законъ Вольты). Условіе что общее количество электричества должно остаться безъ перемѣны выразится тѣмъ что алгебраическая сумма величинъ представляющихъ напряжения на пяти кружкахъ принявъ опять напряжения пропорціональными количествами) равна нулю, то-есть $x + 3x - a + x - 2a = 5x - 3a = 0$; Итакъ $x = a$; $x - a = 0$, $x - 2a = -a$; другими словами, напряжение средняго трехъ кружковъ въ этомъ случаѣ равно нулю, крайніе имѣютъ напряжение вдвое большее чѣмъ въ случаѣ одной пары (когда оно равнялось $\frac{a}{2}$).

Еслибы нижній конецъ былъ соединенъ съ землею, то напряжение на верхнемъ цинкѣ было бы, какъ знаемъ, $+2a$, слѣдовательно вдвое болѣе чѣмъ въ случаѣ изолированнаго столба. Результаты согласные съ опытомъ. Понятно что теорію можно распространить на какое угодно число паръ.

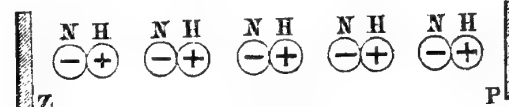
Еслибы столбъ первоначально былъ сложенъ когда одинъ изъ его полюсовъ сообщенъ съ землею и еслибы затѣмъ сообщеніе

было прервано, то распределение напряжений не может сохраниться в том виде как было пока столб оставался не изолированным. Уже потеря чрезъ воздухъ, болѣе значительная тамъ гдѣ болѣе напряженія, должна измѣнять распределение электричества и вызвать противоположное напряженіе на полюсъ гдѣ прежде оно равнялось нулю. Чрезъ нѣкоторое время столбъ придетъ въ состояніе соответствующее случаю изолированныхъ полюсовъ. Измѣненія напряженія столба при переходѣ отъ одного состоянія къ другому вообще требуютъ тѣмъ значительнѣйшаго времени чѣмъ хуже проводимость частей его составляющихъ.

§ 357. Теорія химическаго происхожденія тока замкнутой гальванической батареи. Если причина электрическаго напряженія вольтова столба есть прикосновение разнородныхъ тѣлъ, то источникъ движущагося въ замкнутой цѣпи электричества, производящаго токъ, заключается въ химическихъ дѣйствіяхъ имѣющихъ мѣсто въ батарее. Внимательное изученіе явленій тока обнаруживающагося какъ скоро батарея замкнута показываетъ что токъ наступаетъ одновременно съ наступленіемъ химическихъ дѣйствій въ жидкости входящей въ составъ батареи. Когда нѣтъ химическаго дѣйствія нѣтъ и тока. Эту зависимость тока отъ химическихъ переменъ въ батарее не трудно усмотрѣть а priori. Очевидно, что еслибы тѣла изъ которыхъ слагается батарея не претерпѣвали никакого измѣненія и дѣйствовали единственно вслѣдствіе того что приведены въ прикосновение, то принимая въ соображеніе что токъ порождаетъ теплоту, можетъ разлагать воду и другія тѣла, мы должны бы заключить что имѣемъ машину не потребляющую матеріала и обладающую неисчерпаемымъ запасомъ энергіи, то-есть что задача о *perpetuum mobile* разрѣшена.

Чтобы разяснить какимъ образомъ химическія измѣненія жидкой части элемента обуславливаютъ движеніе электричества, прибѣгаютъ къ представленіямъ съ которыми мы отчасти познакомились говоря о системѣ Гротхуса (§ 354). Обратимся, наприимѣръ, къ элементу состоящему изъ химически

чистаго или амальгамированнаго цинка и пластинки платины, опущенныхъ въ воду съ прибавленіемъ сѣрной кислоты. Мы представляемъ себѣ тѣла вообще состоящими изъ малѣйшихъ частицъ, слагающихся въ свою очередь изъ еще болѣе мелкихъ атомовъ. Согласно такому общепринятому возрѣнію, жидкость элемента можемъ разсматривать какъ совокупность маленькихъ группъ атомовъ, причемъ каждая группа или частица состоитъ изъ сложенныхъ вмѣстѣ атомовъ водорода, кислорода и сѣры, входящихъ въ составъ воды и сѣрной кислоты. Будемъ разсматривать каждую группу какъ состоящую изъ двухъ частей: водорода *H* и совокупность остальныхъ атомовъ *N* (фиг. 507). Допустимъ что прикосновение атомовъ можетъ порождать электрическое напряженіе, какъ прикосно-



Фиг. 507.

вение разнородныхъ тѣлъ: и пусть водородъ имѣетъ положительное, остальная часть каждой группы отрицательное электрическое напряженіе. Цинкъ имѣетъ значительное химическое сродство съ кислородомъ и стремится съ нимъ соединиться. Вслѣдствіе этого частицы жидкости сосѣднія съ цинкомъ обращаются къ нему тою своею стороною гдѣ кислородъ. Первый рядъ частицъ, принявъ такое правильное расположеніе, побуждаетъ дѣйствіемъ притяженія разнородныхъ электричествъ и слѣдующій рядъ, а этотъ слѣдующій за нимъ и такъ далѣе, расположится своими водородными половинами въ сторону платины, какъ показано на чертежѣ. Съ другой стороны, цинкъ прика- ющийся съ водою электризуется, какъ извѣстно, отрицательно *)

*) Самое происхожденіе отрицательнаго наэлектризованія цинка можетъ быть объяснено химическою гипотезой. Можно допустить что обращенная къ цинку электроотрицательная половина частицъ жидкости электризуется его чрезъ влияние, возбуждая $+E$ въ частяхъ сосѣднихъ съ жидкостью и отталкивая $-E$ въ отдаленныя. За электризованіемъ чрезъ влияние слѣдуетъ соединеніе цинка съ электроотрицательною частию перваго ряда частицъ и вообще описанный процессъ. Но при всякомъ соединеніи электроотрицательной группы съ цинкомъ, съ него уносится нѣкоторое количество $+E$, и процессъ по- тому длится очень не долго, пока оттапливаніе скопившагося на цинкѣ отрицательнаго электричества уравновѣситъ химическое притяженіе. Нѣкоторое подтвержденіе такого возрѣнія можно видѣть въ томъ фактѣ, что первое время по погруженіи амальгамированный цинкъ покрывается пузырями водорода.

и следовательно отталкивает электроотрицательную часть каждой группы. Притяжение происходящее от химического сродства уравнивается электрическим отталкиванием, и никакого действия не обнаруживается. Но как скоро цинк приведен в сообщение с платиной, его отрицательное напряжение уменьшается вследствие сообщения с проводником, и мало того: цинк получает, вследствие металлического прикосновения, положительное наэлектризование. Тотчас наступает соединение цинка с электроотрицательною частию соседних с цинком частиц. Образуется створенная окись цинка, растворяющаяся в воде. Выделившиеся атомы водорода первого ряда частиц немедленно соединяются с электроотрицательными частями *N* второго ряда, восстанавливая группы в прежнем виде и выделяя водород *H*, соединяющийся с группами *N* следующего ряда *), и так далее до ряда ближайшего к платине. Последний выделившийся водород освобождается при платиновом электроде, принимаящем положительное электричество и передающем его цинку, который вновь разлагает ряд частиц и т. д. Происходит круговращение электричества или ток.

Явления тока производятся исключительно тем электричеством которое приводится в движение химическими перемещениями. То электричество которое мы обнаруживаем на электроде, приводя металлы в прикосновение, не участвует в явлениях.

§ 358, Вольтово объяснение происхождения тока и его отношение к вышеизложенной химической теории. Вольта, видевший в прикосновении разнородных металлов не только источник электрического напряжения, но и источник самого тока, и именовавший прикасающиеся металлы *электродвижателями*, объяснял необходимость присутствия жидких проводников на основании особого закона, выведенного им из того важного факта что в замкнутой цепи составленной из одних металлов не может образоваться ток или движение электричества (*второй закон Вольты*). Наблюдая знак и степень электрического напряжения различных металлов при взаимном прикосновении, он составил лестницу металлов: серебро, медь, железо, олово, свинец, цинк (выше серебра надлежит поставить уголь и платину). В этой лестнице каждый предыдущий металл электризуется отрицательно, прикасаясь к какому-либо из последующих, или, как выражается Вольта, в духе теории одной жидкости, „первый гонит элек-

*) Можно спросить почему выделившийся из данной частицы водород немедленно вытесняет водород соседней частицы, замещающая его собою? Это явление приводится к тому общему химическому факту, что-только что выделившиеся атомы особенно жадны к соединению (*status nascens*).

тричество во второй, второй в третий и т. д.“ Существует, говорит он далее, некоторое определенное отношение между металлами... касательно силы с какою они гонят электричество один в другой. Под этим отношением я понимаю, что если например серебро гонит электричество в медь с силою =1, медь в железо с силою =2, железо в олово с силою =3, последнее в свинец с силою =4, наконец свинец в цинк с силою =5, то серебро прикасаясь непосредственно к цинку должно гнать электричество с силою =12 (сумма отдельных сил). Также точно, при сообщении меди с оловом гонящая сила будет =5, железа с свинцом =4, железа с цинком =8 и т. д. Таким образом электро-движущая сила двух металлов равна сумме электро-движущих сил металлов стоящих в их ряд или лестнице между этими двумя металлами. Потому, входят ли посредствующие металлы или нет в снаряд сложенный из одних металлов, все ли они помешены между двумя образующими концы или некоторые, и в каком бы при том ни были порядке, электро-движущая сила должна остаться абсолютно одна и таже, как если бы первый металл непосредственно касался последнего. Вольта именовал эту удовлетворяющую закону ряда (таковы металлы) проводниками *первого класса*, те же не подчиняющиеся этому закону (таковы вода и другие жидкости) проводниками *второго класса* *). Присутствие проводника второго класса не позволяет установиться в цепи электрическому равновесию, вследствие чего и порождается ток. Химическим явлениям Вольта не давал значения в образовании тока.

Недовольно резкое различие двух групп явлений: электрического напряжения незамкнутого столба и тока возникающего когда цепь замкнута—породило многолетний спор между двумя воззрениями: теорией прикосновения и теорией химического происхождения как тока так и самого наэлектризования при прикосновении. По теории прикосновения Вольты ток, — как только что было указано нами, — происходит от электродвижущей, *гонящей* электричество силы действующей в месте где касаются металлы (которые потому и названы Вольтой *электродвижателями*). В цепи из одних металлов тока не бывает потому что электродвижущие силы металлов удовлетворяют известному закону Вольтова ряда. Но силы эти тотчас обнаруживают действие как скоро в цепь введено тело (вода и другие жидкости) этому закону не подлежащее или вообще чрез прикосновение не порождающее заметного электричества.

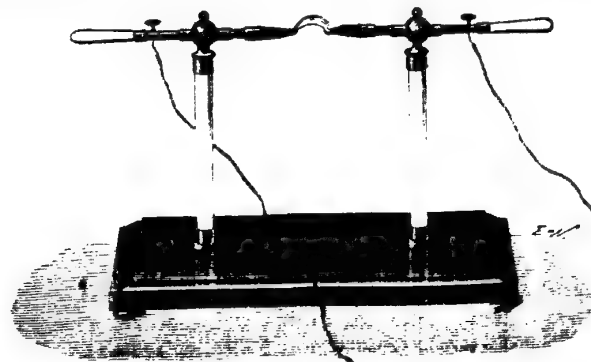
*, Вода, например, электризует цинк отрицательно и следовательно, если бы удовлетворяла закону ряда, еще сильнее должна бы электризовать медь или серебро. Опыт показывает, напротив, что электризование этих тел гораздо слабее чем цинка.

Теорія прикосновенія въ этомъ видѣ возбудила противъ себя неотразимыя возраженія. „Если существуетъ, справедливо замѣчать, напримѣръ, англійскій ученый докторъ Роджетъ (Roget, 1829) сила, имѣющая свойство приписываемое ей этою гипотезой, то-есть способная постоянно гнать нѣкоторую жидкость, не истощаясь чрезъ свое дѣйствіе, то эта сила будетъ разниться отъ всѣхъ извѣстныхъ силъ природы. Всѣ силы или источники движенія, съ дѣйствіемъ которыхъ мы знакомы, тратятся въ той пропорціи, въ какой производятъ дѣйствіе; отсюда невозможность получить помощью ихъ вѣчное дѣйствіе или *вѣчное движеніе*. Но электро-движущая сила, приписываемая Вольтой прикасающимся металламъ, есть сила, которая, какъ скоро электричеству представляется свободный путь, гонитъ его въ движеніе, никогда не истощается и продолжаетъ возбуждаться съ неослабнымъ могуществомъ, производя непрестанное дѣйствіе. Противъ истины подобнаго предположенія вѣроятность безконечна.“ Ту же мысль Фарадей выражаетъ слѣдующими словами: „Теорія прикосновенія предполагаетъ, что сила, которая способна побуждать значительныя сопротивленія, а именно сопротивление проводниковъ, хорошихъ или дурныхъ чрезъ которые идетъ токъ, и электрическое сопротивление разлагаемыхъ тѣлъ, — *можетъ произойти изъ ничего*; что безъ всякой перемены дѣйствующей матеріи, безъ употребленія или образованія силы, можетъ произойти токъ, который пойдетъ, побуждая постоянное сопротивление, или задержится, какъ въ случаѣ вольтовой батареи, только обломками, скопившимися на его пути въ дѣйствіе его собственнаго дѣйствія. Это было бы поистинѣ *созданіе силъ*, и другой подобной силы мы не знаемъ въ природѣ. Мы знаемъ нѣкоторые процессы, при которыхъ измѣняется *форма* силъ, такъ что происходитъ видимое *превращеніе* одной въ другую. Такъ, мы можемъ преобразовать химическую силу въ электрический токъ, или электрический токъ въ химическую силу. Прекрасные опыты Зебека и Пельтье показываютъ преобразуемость тепла и электричества; опыты Эрстеда и мои собственные показали преобразуемость электричества и магнетизма. Но ни въ какомъ случаѣ, ни даже въ случаѣ гальванотоміи и электрическаго еката, нѣтъ созданія или образованія силы безъ соотвѣтствующаго употребленія чего-либо служащаго запасомъ.“

Другое возраженіе на происхожденіе тока, принявъ во вниманіе исключительно химическія его явленія, отрицало, вопреки фактамъ, возможность наэлектризованія прикасающихся разнородныхъ тѣлъ безъ предшествовавшаго химическаго измѣненія; говорилъ: вопреки фактамъ, ибо ученіе о наэлектризованіи чрезъ прикосновеніе подтверждается самыми тщательными опытами. Противорѣчіе начала прикосновенія съ началомъ сохраненія запаса силы въ природѣ устраняется тѣмъ что прикосновеніе или точнѣе притяженіе между частицами электричествъ и частицами разнородныхъ тѣлъ само по себѣ можетъ про-

извести въ цѣпи составленной изъ такихъ тѣлъ только нѣкоторое постоянное *распределеніе* электричества а не движеніе его. Электрическое движеніе или *токъ* обусловливается исключительно химическими процессами цѣпи. Этимъ примиряются упомянутыя возраженія на происхожденіе тока.

§ 359. Опыты надъ термическими дѣйствіями тока сильныхъ гальваническихъ батарей. Мы упоминали въ § 351 о громадной батарее въ 2000 элементовъ устроенной по подпискѣ (въ 1808 году) для лабораторіи Королевскаго Института въ Лондонѣ. Деви такъ описываетъ ея устройство и дѣйствіе. „Она состояла изъ двухъ сотъ аппаратовъ соединенныхъ въ правильномъ порядкѣ; каждый изъ нихъ былъ изъ десяти двойныхъ досокъ (мѣди и цинка) опускавшихся въ отдѣленія фаянсоваго сосуда. Площадь каждой доски была около 32 квадратныхъ дюймовъ а такъ какъ общее число двойныхъ досокъ было 2000 то полная поверхность батареи была 128000 кв. дюймовъ. Батарея, когда ея отдѣленія были наполнены шестидесятью частями воды смѣшанной по объему съ одною частию азотной и одною частию сѣрной кислоты обнаруживала рядъ блестящихъ и поразительныхъ дѣйствій. Когда (сообщенные съ полюсами) куски углей около дюйма длиною и $\frac{1}{16}$ дюйма въ діаметрѣ приближались одинъ къ другому (на $\frac{1}{16}$ или $\frac{1}{32}$ дюйма) образовалась широкая искра и болѣе чѣмъ половина объема углей дошла до бѣлокаленія; раздвинувъ концы, получали постоянный разрядъ чрезъ разогрѣтый воздухъ, на протяженіи около четырехъ дюймовъ, представлявшій собою блестящую дугу свѣта, широкую, коническую расширяющуюся къ срединѣ (фиг. 508). Если вводили въ эту



Фиг. 508.

дугу какое-нибудь тѣло, оно тотчасъ раскалялось; платина плавилась такъ же быстро какъ воскъ въ пламени обыкновен-

ной свѣчи; кварцъ, сафиръ, магнезія, известъ плавилась; кончики угля и графита быстро исчезали какъ бы испаряясь, даже когда явленіе производилось въ приемникѣ изъ котораго выгнанъ воздухъ; но не было признаковъ чтобы они предвѣстительно приходили въ расплавленное состояніе. Когда явленіе производится въ воздухѣ разрѣжаемомъ помощію насоса, то разстояніе между концами углей можетъ быть увеличиваемо по мѣрѣ разрѣженія воздуха, и когда давленіе внутри колпака около четверти дюйма ртутнаго столба, разрядъ начинается проходить при разстояніи около половины дюйма между концами. Раздвигая концы, можно длину дуги довести до шести и семи дюймовъ; она представляетъ въ высшей степени красивое блистаніе пурпуроваго свѣта; уголь сильно раскаляется и прикрѣпленная къ нему платиновая проволока расплавляется съ блестящимъ сверканіемъ, падая широкими шариками на тарелку насоса. Электрическій свѣтъ можетъ быть произведенъ внутри масла или иной изолирующей жидкости, а также и подъ водою. Нынѣ дѣлаютъ опыты съ электрическимъ свѣтомъ, не прибѣгая къ такимъ многопарнымъ батареямъ. Пятидесяти или шестидесяти элементовъ батареи Вунзена, токъ которой пропускается чрезъ палочки весьма твердаго угля (сплотнаемаго изъ мелкаго угля остающагося въ ретортахъ при газовомъ производствѣ) — достаточно чтобы произвести электрическій свѣтъ съ силою освѣщенія нѣсколькихъ сотъ свѣчей. Дабы свѣтъ былъ непрерывенъ, употребляются электромагнитные регуляторы (см. страницу 306, фиг. 272) сближающіе угли по мѣрѣ ихъ истребленія. Слѣдить за постепеннымъ истребленіемъ углей, изъ которыхъ состоитъ положительному полюсу истребляется вдвое скорѣе, весьма удобно, проложивъ, — помощію передняго стекла фонаря гдѣ помѣщается регуляторъ, — изображеніе углей на экранъ. Чтобы изображеніе было ясно, передъ стекломъ ставится диафрагма съ круглымъ отверстіемъ.

Батареи съ весьма большою поверхностію устраивались (около 1815 г.) англійскимъ ученымъ Чайльдреномъ (Children). Самая большая состояла изъ двадцати двойныхъ досокъ; четыре фута на два; они погружались въ отдѣленія деревяннаго корыта, выложеннаго цементомъ и наполненнаго разбавленною кислотою. Батарея въ полномъ дѣйствіи разлагала воду и производила сотрясенія въ человеческомъ тѣлѣ не болѣе чѣмъ батарея съ равнымъ числомъ малыхъ досокъ, но когда токъ замыкался металлическими проволоками, явленіе было самаго яркаго рода. Платиновая проволока $\frac{1}{30}$ дюйма толщиною и 18 дюймовъ длиною, введенная въ цѣпь между мѣдными полюсами мгновенно раскалилась до красна и затѣмъ до бѣла; яркость свѣта была почти нестерпима для глаза; въ нѣсколько секундъ металлъ расплавился на шарики. Другіе металлы легко плавилась и обращались въ паръ. Раскаленные концы

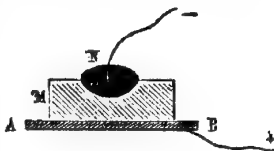
углей давали свѣтъ столь яркій, что солнечное сіяніе сравнительно казалось слабымъ*.

§ 360. Химическія дѣйствія батарей большой силы. Открытія Деви. Деви пробовалъ разлагать растворы ѣдкаго кали и натра въ водѣ, дѣйствуя батареями изъ 250 элементовъ (погруженные въ растворъ квасцовъ и азотной кислоты дощечки мѣди и цинка въ 6 и 4 квадратныхъ дюймовъ). Обнаружилось сильное дѣйствіе, но разлагалась только вода, выделяя кислородъ и водородъ съ сильнымъ кипѣніемъ и нагреваніемъ. „Такъ какъ вода такимъ образомъ отвращала разложеніе“, то Деви попробовалъ разлагать ѣдкое кали въ расплавленномъ состояніи на платиновой ложкѣ. При проволоки проведенной отъ отрицательнаго полюса обнаружился сильный свѣтъ и колонки пламени, происходившаго, по видимому, отъ развитія нѣкотораго горючаго вещества отдѣлявшагося въ мѣстѣ прикосновенія. Но собрать это вещество было невозможно. Тогда Деви взялъ небольшой кусокъ чистаго ѣдкаго кали, выставилъ его на воздухъ на короткое время, такъ что поверхность куска приобрѣла проводимость вслѣдствіе слабаго поглощенія влаги воздуха (сухое кали непроводникъ). Потомъ положилъ этотъ кусокъ на изолированный платиновый кружокъ соединенный проволокой съ отрицательнымъ полюсомъ батареи изъ 250 элементовъ; а къ поверхности куска прикоснулся платиною проволокой проведенной отъ положительнаго полюса. Обнаружилось сильное дѣйствіе. Ѣдкое кали начало плавиться въ обоихъ мѣстахъ прикосновенія. На верхней сторонѣ происходило сильное кипѣніе; на нижней или отрицательной не замѣтно было отдѣленія газа, но показались маленькіе шарики рѣзко металлическаго блеска, похоти на ртуть. Нѣкоторые сгорали яркимъ пламенемъ по мѣрѣ того какъ образовывались. Другіе оставались, тускнѣли и покрывались тонкою пленкой (оказавшейся ѣдкимъ кали). Эти шарики** и были то вещество котораго я искалъ: особое горючее начало, составная часть кали—(металл) потасій. Металлъ этотъ такъ жадно

* Въ противоположность съ этими большими батареями, Вульстенъ устроилъ (изъ наперстка съ отрезаннымъ дномъ, сплунснутаго такъ что онъ представлялъ собою двѣ близко лежащія поверхности, между которыми вставлялась цинковая дощечка въ $\frac{1}{2}$ кв. дюйма) — маленький элементъ раскалившій топчайшую платиновую проволоку.

** Биографъ знаменитаго химика, описываетъ что, когда Деви увидѣлъ маленькіе шарики потасія, выделяющіеся изъ подъ коры ѣдкаго кали и загоравшіеся въ прикосновеніи съ воздухомъ и влагой, онъ не могъ сдержать своей радости: ходилъ по комнатамъ, скакалъ какъ бы объятый безумнымъ экстазомъ; и только чрезъ нѣкоторое время успокоился и могъ продолжать работу.

стремится соединиться съ кислородомъ, что, будучи брошенъ на поверхность воды, разлагаетъ ее, принимая кислородъ и выделяя водородъ, причемъ обнаруживается столько теплоты что водородъ воспламеняется. Потасій, называемый также калиемъ, сохраняется потому въ жидкостяхъ не содержащихъ кислорода, въ нефти, фотогенъ и т. под. Если соединить платиновую пластинку, на которую положенъ кусокъ лѣднаго коки, съ положительнымъ полюсомъ; проволоку же идущую отъ отрицательнаго полюса опустить въ каплю ртути, помещенную (фиг. 509) въ углубленіи на верхней сторонѣ куска, то выдѣляющійся потасій соединится съ ртутью, образуя амальгаму потасія, изъ которой потомъ можно добыть самый металлъ. Кроме кали Деви разложилъ и другія щелочи и земли и открылъ натрій, барій, кальцій, стронцій, магній.



Фиг. 509.

§ 361. Опыты съ физиологическими дѣйствіями гальваническихъ батарей. Изобрѣтеніе гальванической батареи дало новое сильное орудіе для производства электро-физиологическихъ опытовъ. Гальваническія испытанія производились не надъ одними лягушками а также и надъ многими другими животными. Такъ, Александръ Гумбольдтъ (1797) гальванизовалъ трупы птичекъ только что лишенныхъ жизни (обыкновенно чрезъ погруженіе въ воду) и заставлялъ ихъ открывать глаза, ударять крыльями и т. под... Гумбольдтъ вставлялъ въ клювъ пластинку цинка, въ задній проходъ серебряную трубочку и сообщалъ межъ собою оба металла помощью проволоки. „Въ моментъ прикосновенія птичка открыла глаза и поднялась на лапки, ударяя крыльями.“

Альдини, племянникъ Гальвани, и другіе воспользовались столбомъ Вольты для производства опытовъ въ большихъ размѣрахъ надъ гальванизованіемъ труповъ живыхъ существъ, только что лишенныхъ жизни. Многочисленные опыты въ разныхъ мѣстахъ были произведены надъ трупами казенныхъ. Упомянемъ объ опытахъ доктора Юръ (Ure) въ Глазговѣ въ 1818 году произведенныхъ помощью батареи изъ 270 элементовъ цинка и мѣди (изъ дощечекъ въ 4 квадр. дюйма). Предметомъ опытовъ было тѣло повѣшеннаго преступника, около часа остававшееся на виселицѣ. Соединяя одинъ полюсъ съ позвоночнымъ мозгомъ, другой съ сѣдалищнымъ нервомъ, можно было произвести сильныя конвульсіи мускуловъ тѣла. Чтобы возстановить движенія сопровождающія процессъ дыханія, отъ одного полюса проводили проволоку сквозь ребра къ грудобрюшной преградѣ, другую внутри шеи къ нерву управляющему движеніями преграды. Грудь стала подыматься и опускаться, и вообще обнаружались дыхательныя движенія. „По мнѣнію многихъ ученыхъ, замѣчаетъ Юръ, которые были свидѣтелями сцены, этотъ дыхательный опытъ былъ болѣе поразительный какой когда-либо произ-

водился съ научнымъ снарядомъ.“ Дѣйствуя на нервы лица, можно было произвести самую разнообразную игру личныихъ мускуловъ; причемъ физиономія какъ бы принимала выраженія самыхъ противоположныхъ чувствъ. Одинъ изъ присутствовавшихъ не выдержалъ зрѣлища и упалъ въ обморокъ.

Внимательное изученіе дѣйствія тока на нервы управляющіе движеніемъ мускуловъ привело къ заключенію что вообще дѣйствіе это опредѣляется не абсолютною силою тока въ данный моментъ, а измѣненіями ея отъ одного момента къ другому, и возбужденіе къ движенію бываетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ быстрѣ происходятъ эти переиѣны и чѣмъ онѣ значительнѣе въ продолженіе даннаго времени *). Лапка лягушки содрагается лишь при наступленіи и при прекращеніи тока, когда же токъ продолжается въ одинаковой силѣ—она остается въ покоѣ.

§ 362. Элементы съ двумя жидкостями и постояннымъ дѣйствіемъ. Элементъ Даниеля. Дѣйствіе гальваническихъ батарей первоначальнаго устройства (состоящихъ изъ элементовъ съ одною жидкостью въ которую погружаются два разнородные металла), весьма сильное въ первое время по замкнутіи цепи, затѣмъ быстро ослабѣваетъ. Англійскій ученый Даниель (1836) первый усмотрѣлъ что ослабѣваніе это находится въ прямой связи съ выдѣленіемъ водорода на металлъ служащемъ положительнымъ полюсомъ элемента *). (Почему водородъ покрывающій по-

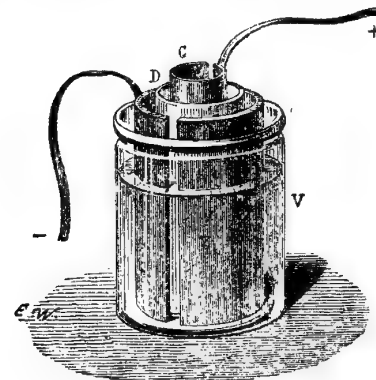
* Если токъ дѣйствующій на нервы чрезвычайно силенъ, то замѣчаются содраганія мускуловъ и въ то время когда токъ остается постояннымъ. Но въ этихъ случаяхъ содраганія нервною наблюдаются и нѣкоторое время спустя послѣ того какъ токъ прерванъ; если же онъ продолжался значительное время, то лапка совсемъ утрачиваетъ чувствительность. Можно полагать что содраганія въ этихъ случаяхъ обуславливаются необыкновеннымъ электрическимъ возбужденіемъ нерва и химическими измѣненіями произведенными сильнымъ токомъ, оказавшимъ разрушительное дѣйствіе.

*) „Моя усилія, говоритъ Даниель, были направлены къ тому чтобы открыть причину непостоянства дѣйствія (элементовъ)... Я далъ батареи (изъ цинка и платины погруженныхъ въ воду съ сѣрной кислотой) истощить свою силу, оставивъ снарядъ замкнутымъ тридцать часовъ, послѣ чего въ voltaметрѣ не было замѣтнаго выдѣленія газовъ. Затѣмъ я вынулъ

верхность металла производит ослабление тока упомянутое ниже когда будем говорить о такъ называемой *электрической поляризации электродовъ*). Чтобы устранить выделение водорода, Даниель,—оставивъ цинкъ въ обыкновенной жидкости гальваническихъ батарей, (вода съ серною кислотой),—мѣдь погрузилъ въ растворъ мѣднаго купороса, раздѣливъ жидкости скважистою перегородкой, которая, задерживая ихъ смѣшаніе, не прекращала распространеніе тока.

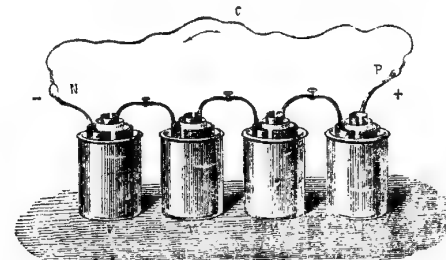
платиновые пластинки и замѣнилъ ихъ новыми: дѣйствіе возобновилось съ тою же почти силою какъ въ началѣ, но ослабѣваніе происходило значительно скорѣе чѣмъ прежде. Даже при замѣнѣ платиновыхъ пластинокъ желѣзными можно было замѣтить возобновленіе дѣйствія съ большою силою. Ослабленіе зависѣло, повидимому, отъ нѣкотораго особаго состоянія, въ какое приходили проводящія пластинки. Я старался устранить его разными способами. Я полировалъ пластинки, нагревалъ до краснаго каленія, варилъ въ растворѣ ядраго кали, и все безъ рѣшительнаго результата. Впрочемъ кипяченіе въ азотной и соляной кислотахъ возстановляло дѣйствіе... Разсматривая платиновые пластинки послѣ долго продолжавшагося дѣйствія, я замѣтилъ шероховатость при краяхъ и на сторонахъ, дававшую мысль что платина разъѣдена. Бодѣе внимательное изслѣдованіе показало что это происходило отъ отложенія на платинѣ металлическаго цинка; и когда батарея была замкнута въ продолженіе восьмидесяти часовъ, кора выросла настолько что отпадалась хлопьями... Цинкъ несомнѣнно происходилъ отъ окиси цинка, образованной дѣйствіемъ батареи (отъ окисленія и растворенія ея цинковыхъ дощечекъ) и былъ возстановленъ изъ окиси дѣйствіемъ выделяющагося при платинѣ водорода (*in statu nascenti*); скопленіе этого цинка въ разныхъ количествахъ достаточно объясняетъ измѣненіе и полное прекращеніе тока. Въ самомъ дѣлѣ въ нѣкоторыхъ случаяхъ платина такъ покрывается цинкомъ что представляетъ какъ бы другую цинковую поверхность противоположную первой.* Принимая во вниманіе что водородъ оказываетъ раскисляющее дѣйствіе и на другія металлическія окиси, Даниель возымѣлъ мысль, замѣнивъ платину мѣдью, погрузить мѣдь въ растворъ мѣдной соли изъ котораго дѣйствіемъ водорода выдѣлалась бы мѣдь. Мѣдь, находясь на мѣдный же электродъ, не можетъ производить ослабляющаго дѣйствія. Даниель выбралъ растворъ мѣднаго купороса, отдѣливъ его отъ пространства гдѣ находится цинкъ перепонкой, именно, сдѣлавъ родъ цилиндра изъ бычачьяго горла. Такой скважистый сосудъ съ заключающимися въ немъ подкисленною водою и цинкомъ погру-

Фиг. 510 изображаетъ элементъ Даниеля въ его нынѣшнемъ устройствѣ. Цинковый цилиндръ Z по-



Фиг. 510.

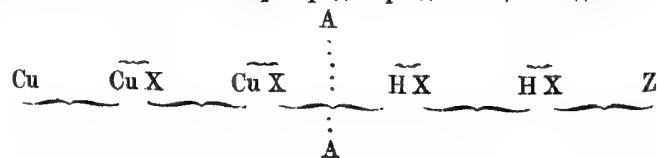
гружается въ воду съ серною кислотой налитую въ стеклянный сосудъ V. Цилиндрической сосудъ D изъ скважистой, слабо обожженной глины вышцаетъ въ себя мѣдный цилиндръ C погруженный въ растворъ мѣднаго купороса. Фиг. 511 изображаетъ соединеніе нѣсколькихъ элементовъ въ батарею.



Фиг. 511.

Когда элементъ замкнутъ, начинается разложеніе жидкостей. Въ части снаряда гдѣ погруженъ цинкъ разложеніе жался въ сосудѣ съ купоросомъ и мѣднымъ цилиндромъ. Таковъ былъ ходъ открытія Даниеля. Последующія изслѣдованія показали, впрочемъ, что его разсужденіе было не полно и не точно. Водородъ выделяющійся въ элементъ съ одною жидко-

происходить какъ описано въ § 357, но выделяющийся на границѣ воды съ мѣднымъ купоросомъ водородъ замѣщаетъ собою мѣдъ въ разлагающейся частицѣ купороса; мѣдъ выделенная изъ перваго ряда частицъ замѣщаетъ собою мѣдъ втораго ряда и т. д. до частицъ лежащихъ въ сосѣдствѣ мѣднаго электрода, на которомъ и оседаетъ мѣдъ выделяющаяся изъ послѣдняго ряда частицъ купороса. Если представимъ себѣ что каждая частица водной сѣрной кислоты есть соединеніе водорода H съ группою X атомовъ сѣры и кислорода (SO, по химическому обозначенію), каждая частица мѣднаго купороса — соединеніе мѣди Cu съ такою же группою X, то процессъ разложенія можно наглядно изобразить слѣдующимъ рядомъ, гдѣ AA есть перегородка разделяющая жидкости:



Такъ какъ мѣдный электродъ покрывается не водородомъ, а однородной съ нимъ мѣдью, то ослабленія тока не замѣчается. Чтобы постепенное выдѣленіе мѣди не истощало раствора, въ него кладется избытокъ купороса. Даниель при первоначальномъ устройствѣ своего снаряда заботился чтобы устранить также измѣненіе претерпѣваемое жидкостью окружающею цинкъ (вслѣдствіе растворенія этого металла) и помощью сифона постепенно удалялъ ее, замѣняя новою. Вслѣдствіи это оставлено.

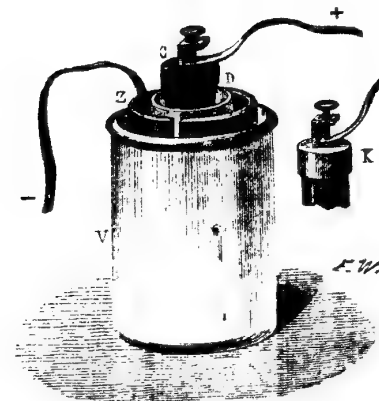
Англійскій ученый Гровъ (1840) устроилъ сильный элементъ изъ цинка и платины, погрузивъ цинкъ въ воду съ сѣрною кислотой, а платину въ жидкость поглощающую выделяющійся водородъ, а именно въ азотную кислоту (кряпкая водка). Эта жидкость, богатая кислородомъ, окисляетъ выделяющійся водородъ, обра-

стію дѣйствуетъ не только тѣмъ что возстановляетъ цинкъ (это уже дальнѣйшая стадія опыта), но непосредственно производя явленіе именуемое *поляризацией* электродовъ. Покрывать слоемъ водорода дощечка платины или мѣди электризуется получая отрицательное электричество и направляя положительное въ жидкость куда погружена, слѣдовательно *противъ* направленія тока. Прибавимъ что употребленіе при гальваническихъ изслѣдованіяхъ двухъ жидкостей раздѣленныхъ скважистою перегородкою введено первоначально французскимъ ученымъ Бъверелемъ.

зую воду и сама приходя постепенно въ мѣнѣе окисленное состояніе. Элементъ весьма силенъ, хотя и мѣнѣе постояненъ чѣмъ элементъ Даниеля. По дороговизнѣ платины элементы Грова дѣлаются небольшой величины. Знаменитый профессоръ химіи въ Гейдельбергѣ Бунзенъ сдѣлалъ важный шагъ въ устройствѣ постоянныхъ сильно дѣйствующихъ батарей, замѣнивъ платину элемента Грова плотнымъ углемъ, приготовляемымъ изъ угля остающагося въ ретортахъ при добываніи свѣтильнаго газа.

Въ недавнее время Бунзену удалось устроить достаточно постоянную батарею изъ цинка и угля погружаемыхъ въ одну жидкость. Употребляемая жидкость, отъ точнаго состава которой зависитъ успѣшное дѣйствіе снаряда, есть хромовая кислота смѣшанная съ сѣрною кислотой и водой (на 40 банокъ берется 6,182 килограммовъ двухромовокислаго кали въ порошокъ, 6,282 сѣрной кислоты и 60,47 литровъ воды).

Фиг. 512 изображаетъ элементъ Бунзена. Z есть цинковый цилиндръ погруженный въ воду съ сѣрною



Фиг. 512.

кислотой; D скважистый сосудъ содержащій азотную кислоту, въ которую погружается цилиндръ или планка твердаго угля. Неудобство элементовъ Грова и Бунзена въ томъ что они распространяютъ вредныя пары раскисленной азотной кислоты.

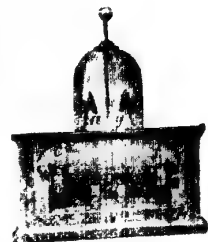
§ 363. Сухие столбы. Нельзя ли, спрашивал Вольта, найти твердый проводник, который не обнаруживал бы электродвижущей силы, или по крайней мере не подчинялся вышеупомянутому (второму) закону ряда и который можно бы было поместить между парами обыкновенных металлов, чтобы сдвигать электро-двигатель весь из твердых тел (сухой столб). «Открытие кажется мне трудным, но не невозможным», прибавляет Вольта. Пытался разрешить подобную задачу, Делюк *) (1810) устроил столб из парь цинка и серебра переложенных обыкновенною бумагой, которую он, дабы достигнуть теснейшего прикосновения, наклеивал на тот или другой металл. Столб обнаружил замѣтное электрическое напряжение при концах.

Сухие столбы стали предметом многих исследований по слѣ того какъ итальянскій ученый Замбони (Zamboni) сдѣлалъ извѣстнымъ свой снарядъ. Замбони (1814) употреблялъ серебряную бумагу (то-есть покрытую сплавомъ олова и цинка), на неметаллическую сторону которой накладывалась тѣстообразная масса изъ порошка марганца, смоченнаго медомъ (позднѣе Замбони смачивалъ неметаллическую сторону бумаги сѣрникою окисью цинка и натиралъ порошокъ марганца). Изъ такой бумаги вырѣзывалось множество кружковъ, которые и налагались одинъ на другой разнородными сторонами. Замбони налагалъ до 2000 такихъ кружковъ въ стеклянную трубку, стѣнки которой снаружи и внутри покрывались слоемъ сургуча. Трубка ставилась вертикально на металлической ножкѣ. Вверху снарядъ имѣлъ мѣдную головку. Столбикъ изъ 2000 кружковъ составлялъ сильно расходиться листки электроскопа, давалъ искру около линии длиною, заряжалъ лейденскую банку такъ что она давала весьма чувствительное сотрясеніе. Особый интересъ неаучной публики возбуждалъ электрическій маятникъ Замбони. А именно Замбони ставилъ два совершенно одинаковые столба въ разстояніи 4 или 5 дюймовъ (одинъ положительнымъ другой отрицательнымъ полюсомъ къверху) и между ними на особой подставкѣ подвижную (изолированную) стрѣлку на горизонтальной оси, подобно стрѣлкѣ наклоненія. Ея длина была около 2, длины столба. Стрѣлка попеременно притягивается то однимъ то другимъ столбомъ, и движеніе ея продолжается непрерывно пока дѣйствуетъ столбъ. Замбони имѣлъ apparatusъ стрѣлка котораго качалась непрерывно около двухъ дѣтъ.

*) Извѣстный геологъ и физикъ родившійся въ Женевѣ въ 1727 году, умершій въ Англіи въ кругу королевскаго семейства въ 1827 году. Первый изобрѣтатель сухихъ столбовъ есть собственно Беренсъ (Behrens), передавшій (1805) издателю *Физическаго журнала* Гильберту нѣсколько мемуаровъ, гдѣ между прочими снарядами описанъ сухой столбъ, и затѣмъ беззавѣдно сошедшій съ ученаго поприща. Беренсъ слагалъ столбъ изъ многихъ десятковъ элементовъ изъ цинка и золотой бумаги.

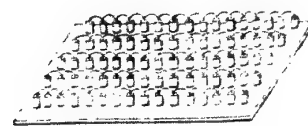
Надѣялись даже воспользоваться снарядомъ для устройства правильно идущихъ часовъ, которыхъ не было бы надобности заводить въ продолженіе всей человѣческой жизни. Пять такихъ часовъ были устроены съ большими издержками, но нисколько не оправдали надежды. Сухие столбы удобны для повѣрки законовъ электрическаго напряженія столба. Рядъ замѣчательныхъ опытовъ съ сухими столбами былъ произведенъ въ 1816 году профессоромъ астрономіи въ Геттингенѣ Боненбергеромъ. Онъ доказалъ, между прочимъ, что дѣйствіе снаряда обуславливается небольшою степенью влажности какую всегда имѣетъ бумага. Столбикъ сложенный изъ кружковъ тщательно высушенной бумаги не оказывалъ дѣйствія. Такимъ образомъ проводникъ раздѣляющій металлическія пары въ сухомъ столбѣ имѣетъ совершенно то же значеніе какъ смоченная папка въ столбѣ Вольты, съ тою лишь разницею что бумага сухаго столба, по ея слабой степени влажности, представляетъ гораздо болѣе сопротивленія движенію электричества чѣмъ мокрый проводникъ обыкновеннаго Вольтова столба.

Боненбергеръ (1815) воспользовался сухимъ столбомъ, чтобы устроить весьма чувствительный и удобный электроскопъ. Фиг. 513 изображаетъ снарядъ такого рода по устройству Фехнера, приложившаго его къ изслѣдованію электрическихъ явленій прикосновения. Золотой листочекъ повѣшенный между полюсами столба притягивается тѣмъ или другимъ изъ нихъ, смотря по сообщаемому электричеству.



Фиг. 513.

§ 364. Гальваническая батарея изъ большаго числа маленькихъ элементовъ Гассиота. «Водяная батарея» англійскаго ученаго Гассиота состоитъ изъ 3520 паръ, образованныхъ рядомъ цинковыхъ и мѣдныхъ цилиндровъ, причемъ каждая пара опускается въ отдѣльный стеклянный стаканчикъ, тщательно покрытый снаружи лакомъ. Стаканчики помѣщались на стеклянныхъ подставкахъ покрытыхъ съ обѣихъ сторонъ толстымъ слоемъ



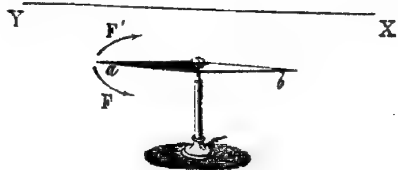
Фиг. 514.

лака... Эти 3520 стаканчиковъ, такимъ образомъ изолированные, ставились на 44 дубовыя доски, по 80 на каждую, также покрытыя лакомъ. На фиг. 514 изображена одна изъ такихъ досокъ,

а слѣва отъ нея отдѣльный элементъ. Доски вставлялись въ деревянный станокъ одна надъ другой, такъ что снарядъ имѣлъ видъ этажерки съ полками. Въ мѣстахъ соединенія съ переключателями доски еще изолировались помощью покрытыхъ лакомъ толстыхъ кусковъ стекла. Полюсы такой батареи обнаружили значительно электрическое напряженіе. При сближеніи проволоки соединенныхъ съ полюсами появлялась искра (въ разстояніи $\frac{1}{10}$ дюйма) прежде чѣмъ концы эти приводились въ прикосновеніе. Наблюдатель, стоя на полу и поднося суставъ пальца къ одному изъ полюсовъ, также получалъ небольшую искру. Главная трудность устройства снаряда въ томъ чтобы его хорошо изолировать. Опытъ показалъ что это чрезвычайно трудно, и несмотря на всѣ предосторожности, батарею нельзя было считать вполне изолированной.

IV. Электро-магнитныя явленія.

§ 365. Дѣйствіе тока на магнитную стрѣлку, открытое Эрстедомъ. Въ концѣ лѣта 1820 года нѣкоторые изъ европейскихъ физиковъ получили изъ Даніи отъ копенгагенскаго профессора Эрштеда небольшую брошюру *Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in aciem magneticam*. Подъ брошюрою было выставлено 21 іюля 1820 года. Въ этой брошюрѣ описывались слѣдующіе опыты: 1) металлическая проволока, соединяющая полюсы Вольтова столба, дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку. Если такую проволоку держать (фиг. 515) надъ магнитною стрѣлкою въ томъ же на-

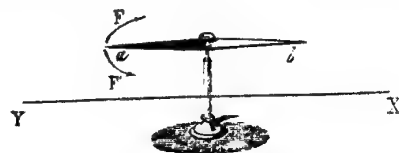


Фиг. 515.

правленіи какое имѣетъ самая стрѣлка (то-есть отъ юга къ сѣверу), то стрѣлка отклоняется отъ своего положенія въ магнитномъ меридіанѣ и образуетъ съ

*) Эрстедъ (Oersted), профессоръ физики въ Копенгагенѣ, родился въ 1777 году. Его отецъ былъ аптекарь. Въ 1799 году Эрстедъ вступилъ адъюнктомъ фармаціи на медицинскій факуль-

нимъ уголъ, котораго величина зависитъ отъ силы употребленнаго столба. Если соединительную проволоку помѣстить надъ стрѣлкою не параллельно, но перпендикулярно къ ея положенію (то-есть отъ запада къ востоку), тогда не бываетъ отклоненія, и слѣдовательно сила земнаго магнетизма и сила проволоки дѣйствуютъ въ такомъ случаѣ по одному направленію. Въ среднихъ положеніяхъ отклоненіе существуетъ, но оно менѣе, чѣмъ когда проволока параллельна стрѣлкѣ. Если помѣстить соединительную проволоку надъ стрѣлкою, параллельно ей, но не прямо по ея направленію, а нѣсколько вправо или влѣво отъ нея, то отклоненіе происходитъ въ ту же сторону какъ если бы проволока проходила надъ стрѣлкою прямо по ея направленію. 2) Если переменить направленіе тока, соединивъ съ отрицательнымъ полюсомъ конецъ стрѣлки, который прежде былъ соединенъ съ положительнымъ и наоборотъ, то отклоненіе стрѣлки произойдетъ въ противную сторону. 3) Если соединительная проволока помѣщена *подъ* стрѣлкою (фиг.



Фиг. 516.

516) въ томъ же направленіи, какъ была *надъ* нею,

теть въ Копенгагенѣ, въ 1801—1803 путешествовалъ по Германіи, Голландіи и Франціи. Профессоръ физики съ 1806 года. Въ сочиненіяхъ своихъ *Взглядъ на химическіе законы природы* (издано въ Берлинѣ, 1812) и *Изысканія о тождествѣ силъ электрическихъ и химическихъ* (напечатано въ Парижѣ 1813) высказывалъ мысли о всеобщности электричества и отношеніяхъ его къ магнетизму. Знаменитое открытіе свое сдѣлалъ въ 1820 году. Черезъ два года послѣ того былъ опять заграничей и по возвращеніи на родину основалъ общество для распространенія знаній, устроивавшее чтенія по научнымъ предметамъ въ разныхъ городахъ страны.

то обнаруживается замѣчательное явленіе: дѣйствіе оказывается противоположное съ первымъ случаемъ, и стрѣлка отклонится въ другую сторону. 4) Сила дѣйствія соединительной проволоки уменьшается съ разстояніемъ. 5) Если токъ не замкнуть, и проволока соединена только съ однимъ изъ полюсовъ, то не обнаруживается никакого дѣйствія на магнитную стрѣлку. 6) Постороннія тѣла, помѣщенные между проводящею проволокою и стрѣлкою, не мѣшаютъ дѣйствію проволоки (исключая тѣлъ магнитныхъ).

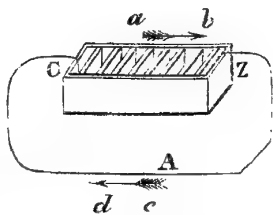
Изъ этого обзора видно, что новооткрытый родъ дѣйствія представлялъ много особенностей, повидимому, противорѣчащихъ общепринятымъ понятіямъ о дѣйствіи силъ. Верхняя и нижняя стороны проволоки оказываютъ противоположное дѣйствіе. Далѣе, дѣйствіе это стремится выгнать полюсы стрѣлки (одинъ въ одну, другой въ другую сторону) изъ плоскости первоначально заключающей въ себѣ проволоку и стрѣлку. Между тѣмъ, очевидно, дѣйствіе происходитъ отъ того что каждый элементъ проволоки дѣйствуетъ на каждую частицу стрѣлки. Естественнѣе всего предположить, что это дѣйствіе происходитъ по линіямъ, соединяющимъ частицы проволоки съ частицами магнитной стрѣлки. Казалось бы сила не можетъ произвести перемѣщенія перпендикулярнаго къ своему направленію; слѣдовательно, когда проволока помѣщена параллельно стрѣлки, то послѣдняя должна бы оставаться въ своемъ положеніи. Между тѣмъ именно въ этомъ случаѣ дѣйствіе проволоки на стрѣлку сильнѣйшее. Концы стрѣлки отклоняются, какъ бы тонимые силами перпендикулярными къ линіямъ соединяющимъ частицы проволоки съ частицами стрѣлки. Когда же проволока расположена перпендикулярно къ направленію магнитной стрѣлки, то въ этомъ положеніи проволока не дѣйствуетъ на стрѣлку.

Эрстедъ такъ описываетъ ходъ своего изобрѣтенія. Изучая явленія тепла, обнаруживающагося въ тѣлѣ, чрезъ которое проходитъ электрическій разрядъ и въ которомъ, слѣдовательно, происходитъ соединеніе противоположныхъ электричествъ, онъ напалъ на предположеніе, „что двѣ противоположныя электрическія силы, проникая нагреваемое ими тѣло, такъ сближаются въ немъ между собою, что ускользаютъ отъ наблюденія, но въ то же время не приходить въ полный покой и могутъ обнаруживать сильное дѣйствіе, хотя и подъ формою совершенно отличной отъ той, которую мы зовемъ электричествомъ“... Не охоту ли, спрашивалъ онъ далѣе, эти силы „въ своемъ наиболѣе скрытомъ состояніи“, въ какомъ онъ находится въ раскаленной или проволоки, какого-либо дѣйствія на магнитъ? „Я не преслѣдовалъ, говорить Эрстедъ, задуманную идею съ тѣмъ рве-

ніемъ, какого она заслуживала. Но лекціи объ электричествѣ, гальванизмѣ и магнетизмѣ, читанныя мною весной 1820 года напомнили мнѣ ее... Моя аудиторія состояла изъ людей свѣдущихъ въ наукѣ; потому въ моихъ урокахъ и приготовительныхъ къ нимъ занятіяхъ я могъ предаваться размышленіямъ болѣе глубокимъ чѣмъ какія дѣлаются на обыкновенныхъ лекціяхъ. Мое старое убѣжденіе въ тождествѣ силъ электрическихъ и магнитныхъ предстало мнѣ съ новою ясностію, и я рѣшился подвергнуть мое мнѣніе испытанію опытомъ. Приготовленіе было сдѣлано въ тотъ же день, когда я вечеромъ долженъ былъ читать лекцію. На этой лекціи я показывалъ опытъ Кантона относительно вліянія химическихъ дѣйствій на магнитное состояніе желѣза; обратилъ вниманіе на перемѣны испытываемыя магнитною стрѣлкою во время грозы, и выразилъ предположеніе, что электрическій разрядъ можетъ также оказать дѣйствіе на стрѣлку, помѣщенную въ гальваническаго тока. Я рѣшился тутъ же сдѣлать испытаніе, и такъ какъ ждалъ наибольшаго дѣйствія отъ разряда сопровождающагося раскаленіемъ, то вставилъ въ соединительный проводникъ тонкую платиновую проволоку и помѣстилъ подъ нею магнитную стрѣлку. Хотя дѣйствіе было несомнѣнно, но оно показалось мнѣ такъ смутнымъ, что я отложилъ подробное изслѣдованіе до другаго времени, когда надѣлся имѣть болѣе досуга. Въ началѣ іюля опыты были повторены и продолжены, и я достигъ результатовъ которые опубликовать.“

§ 366. Повтореніе опытовъ Эрстеда. Дополненія Ампера.
Одно изъ первыхъ повтореній опыта Эрстеда было сдѣлано въ Женевѣ. Пиктетъ и Деларивъ повторили въ присутствіи члена Парижской Академіи Наукъ, Араго, опыты датскаго профессора. Араго, по возвращеніи во Францію, сообщилъ о замѣчательномъ открытіи своимъ сочленамъ въ засѣданіи Академіи 4-го сентября 1820 года. Новооткрытое явленіе произвело глубокое впечатлѣніе на знаменитаго математика Ампера. Чрезъ двѣ недѣли онъ сообщилъ Академіи нѣсколько дополненій къ изслѣдованіямъ Эрстеда и рядъ замѣчательныхъ теоретическихъ соображеній, заключающихъ въ себѣ электрическую теорію магнитныхъ явленій и приведшихъ его къ открытію новаго явленія—взаимнаго дѣйствія токовъ. Объ этихъ размышленіяхъ и открытіяхъ Ампера скажемъ ниже. Теперь же

упомянемъ о дополненіяхъ сдѣланныхъ имъ относительно опыта Эрстеда. Такъ, Амперъ обратилъ вниманіе что на стрѣлку дѣйствуетъ не только соединяющая полюсы проволока, но и самая батарея (фиг. 517). Вообще каждая часть цѣпи въ которой идетъ токъ отклоняетъ находящуюся въ сосѣдствѣ съ нею стрѣлку. Далѣе, Амперъ показалъ что сила съ какою токъ дѣйствуетъ на полюсы стрѣлки перпендикулярна къ его направленію, и что если, въ обыкновенныхъ условіяхъ опыта, отклонившаяся стрѣлка дѣлаетъ съ проволокою, по



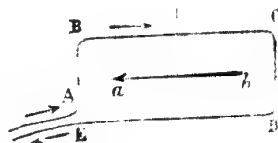
Фиг. 517.

которой идетъ токъ, уголъ менѣе 90° , то это происходитъ оттого что на стрѣлку дѣйствуютъ двѣ силы: сила тока и сила земнаго магнетизма. Чтобы сдѣлать магнитную стрѣлку независимой отъ земнаго магнетизма (*астатическою*, по выраженію Ампера) Амперъ употреблялъ различные приемы; въ числѣ прочихъ систему двухъ соединенныхъ стрѣлокъ обращенныхъ противоположными полюсами въ одну сторону, каковая въ послѣдствіи была приложена къ устройству *гальванометра* (такъ предложилъ Амперъ именовать снарядъ изъ стрѣлки и отклоняющей ее проволоки) и которую опишемъ ниже. Въ какую сторону происходитъ отклоненіе стрѣлки, при различныхъ положеніяхъ дѣйствующей на нее проволоки,—это Амперъ выразилъ въ слѣдующемъ правилѣ: „Если мысленно помѣстить наблюдателя по направленію тока, такъ чтобы токъ шолъ отъ ногъ къ головѣ и чтобы лицо наблюдателя было обращено къ стрѣлкѣ то дѣйствіе тока всегда отклоняетъ стрѣлку такъ что конецъ ея смотрящій на сѣверъ направляется влево отъ сказаннаго наблюдателя.“

Прибавимъ, что такъ какъ первый опытъ Эрстеда

былъ сдѣланъ съ раскаленною проволокою, то многіе полагали что онъ требуетъ батареи большой силы, но скоро оказалось что этого вовсе не требуется, и въ послѣдствіи убѣдились что магнитная стрѣлка есть въ высшей степени чувствительное средство для открытія присутствія тока.

§ 367. Устройство *гальванометра* съ мультипликаторомъ. Принимая во вниманіе что проволока (проводящая токъ) оказываетъ противоположное дѣйствіе, смотря по тому находится ли она *подъ* стрѣлкою или *надъ* нею и какой конецъ ея идетъ отъ положительнаго, какой отъ отрицательнаго полюса, не трудно, говоритъ Швейгеръ *) (1821), догадаться какъ произвести удвоеніе дѣйствія. Для этого достаточно обогнуть стрѣлку (фиг. 518) проволокой проводящею токъ. Не трудно видѣть, руководствуясь правиломъ Ампера, что всѣ стороны четвероугольника обнимающаго стрѣлку оказываютъ согласное дѣйствіе. Дѣйствіе будетъ еще сильнѣе, если, вмѣсто одного оборота, сдѣлаемъ ихъ нѣсколько. Снарядъ состоящій

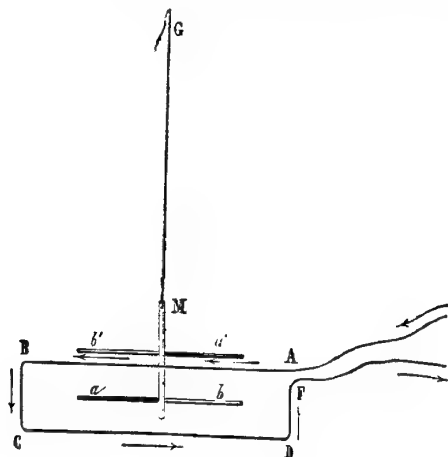


Фиг. 518.

изъ стрѣлки поставленной на остріи или, лучше, повышенной на некрученной шелковинѣ и помѣщенной внутри рамки обмотанной проволокою (проволока должна быть изолирована, — покрыта, напримѣръ, шелкомъ, — дабы токъ прошолъ по каждому обороту) образуетъ *гальванометръ* именуемый *мультипликаторомъ Швейгера*.

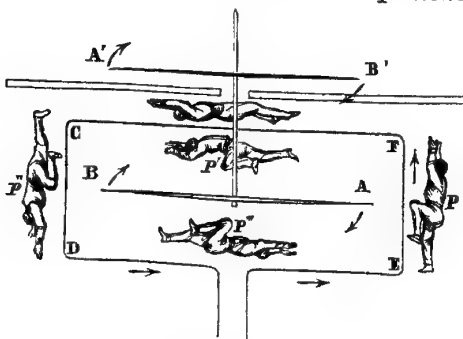
*) Швейгеръ, издатель нѣмецкаго физическаго журнала эпохи двадцатыхъ годовъ, такъ высоко цѣнилъ открытіе дѣйствія тока на магнитъ, что съ 1829 года, какъ новый эпохе физики, повелъ новую серію своего изданія

§ 368. Гальванометръ съ аstaticескими стрѣлками
Нобили. Важное усовершенствованіе въ гальванометрѣ



Фиг. 519.

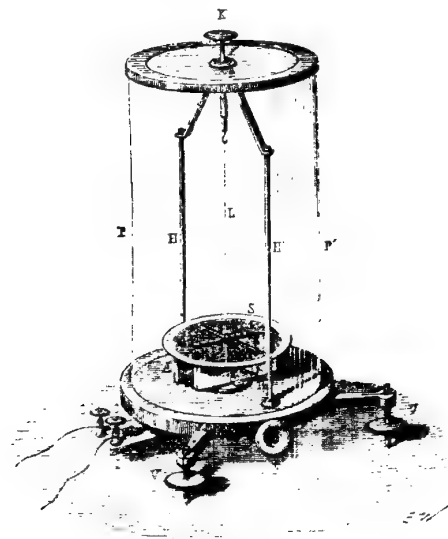
было сдѣлано (1825) итальянскимъ физикомъ Нобили
черезъ примѣненіе аstaticескихъ стрѣлокъ Ампера.



Фиг. 520.

„Вмѣсто одной стрѣлки, говоритъ Нобили, я снабдилъ
мой гальванометръ двумя стрѣлками равныхъ раз-
мѣровъ; стрѣлки эти я укрѣпилъ въ соломеннѣ па-

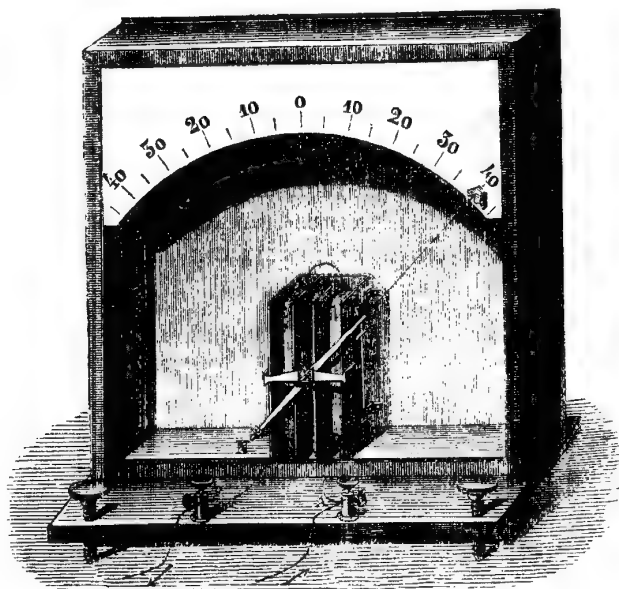
ределльно одна другой, воткнувъ ихъ такъ что со-
ломенка приходилась въ срединѣ каждой. Стрѣлки
были намагничены въ противоположномъ направле-
ніи, такъ что сѣверный полюсъ одной соотвѣтство-
валъ южному другой. Ихъ взаимное разстояніе и
длина соломенки ихъ держашей соразмѣрены такъ что
стрѣлки могутъ имѣть свободное движеніе: одна вну-
три рамки (фиг. 519 и 520), другая непосредственно
надъ нею. Чувствительность инструмента зависитъ
вполнѣ отъ прибавленія верхней стрѣлки, служащей
для двойной цѣли: съ одной стороны она почти уни-
чтожаетъ дѣйствіе земнаго магнетизма, съ другой
стороны отъ това мультипликатора она испытыва-



Фиг. 521.

етъ дѣйствіе согласное съ испытываемымъ нижнею
стрѣлкою и, совокупно съ нею, поворачивается въ
томъ же направленіи. Руководствуясь правиломъ
Ампера, не трудно, помощію фиг. 520, разобрать дѣй-

ствие оборотовъ мультипликатора на верхнюю и нижнюю стрѣлки. Фиг. 521 изображаетъ общій видъ гальванометра съ астатическою системою стрѣлокъ. На фиг. 522 изображенъ гальванометръ съ вертикаль-



Фиг. 522.

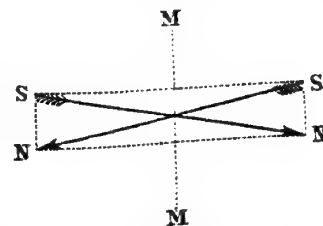
ными стрѣлками, менѣе чувствительный чѣмъ гальванометръ со стрѣлками обращающимися горизонтально, но удобный для производства опытовъ на лекціяхъ.

Физикамъ, прибавляетъ Нобили, уже извѣстно что можно сдѣлать мультипликаторъ Швейгера много чувствительнѣе, если подъ аппаратомъ помѣстить, въ надлежащемъ направленіи, маленькую магнитъ, дабы уменьшить стремленіе стрѣлки мультипликатора становиться въ магнитномъ меридіанѣ. Но этотъ приемъ далеко не доставляетъ гальванометру той чувствительности какую имѣетъ мой снарядъ, въ чемъ легко убѣдиться, сравнивая два аппарата. Но я долженъ настойчиво указать чтобъ особенное стараніе было приложено

имѣть обѣ стрѣлки возмѣжно одинаковой силы: чѣмъ болѣе исполнено это условіе, тѣмъ чувствительнѣе снарядъ. Подвумъ признакамъ узнаю я что стрѣлки намагничены надлежащимъ образомъ. Во первыхъ, по положенію принимаемому общою плоскостію стрѣлокъ когда онѣ предоставлены себѣ: положеніе въ какомъ устанавливаются стрѣлки не должно совпадать съ магнитнымъ меридіаномъ какъ въ обыкновенномъ гальванометрѣ, но должно дѣлать съ нимъ болѣе или менѣе значительный уголъ. Это отклоненіе зависитъ отъ остатка вліянія земнаго магнетизма, которое нельзя вполне уничтожить, какъ бы тщательно ни были согласены стрѣлки *). Другой признакъ—какъ качается снарядъ около линіи равновѣсія. Качанія эти должны быть очень медленны сравнительно съ тѣми какія имѣетъ одна стрѣлка, когда возвращается въ магнитный меридіанъ подъ вліяніемъ земнаго магнетизма.

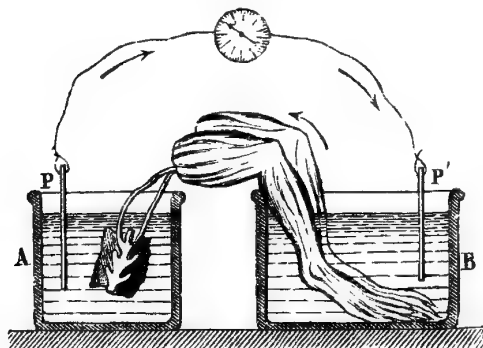
Нобили, желая испытать чувствительность своего гальванометра, сдѣлалъ сравненіе его съ чувствительнѣйшимъ изъ тогдашнихъ средствъ обнаружить наступленіе или прекращеніе тока—лапкою лягушки препарированною по способу Гальвани. „Наполнивъ, говоритъ онъ, два сосуда водою или лучше солевымъ растворомъ, помѣщаемъ лягушку такъ чтобъ ея лапки были въ одномъ, туловище въ другомъ изъ сосудовъ (напримѣръ, какъ на фиг. 524)... Беремъ прядь аміанта или простой хлопчатобумажный снурокъ и, смочивъ жидкостію, держимъ его наготовѣ чтобы зажать цѣпь, опустивъ его концы въ сосуды. Если лягушка только что препарирована, то въ моментъ замыканія всегда или почти всегда обнаруживается содроганіе. Въ цѣпи нѣтъ никакого металла, и дѣйствіе происходитъ единственно отъ соединенія проводниковъ втораго класса, достаточно разнородныхъ чтобы дать токъ обнаруживающійся помощію лапки лягушки... Назовемъ его вообще *токомъ лягушки*, не разбирая какими

*. Последнее замѣчаніе не совсемъ точно. Если бы стрѣлки были строго въ одной плоскости, то та которая сильнѣе, ставъ въ меридіанѣ сѣвернымъ своимъ концемъ къ сѣверу, заставляла бы и болѣе слабую принять то же положеніе, только южнымъ концемъ къ сѣверу. Не то, если стрѣлки не строго параллельны, какъ въ практикѣ всегда и бываетъ. Совокупность ихъ въ такомъ случаѣ можно разсматривать (фиг. 523) какъ узкую полосу SSNN, одна сторона которой SS имѣетъ южный, другая NN сѣверный магнетизмъ и которая потому располагается своею длиною перпендикулярно къ магнитному меридіану.



Фиг. 523.

частями онъ производится... Первою мыслию моею было провести подобный токъ чрезъ одинъ изъ моихъ наиболѣ чувствительныхъ мультипликаторовъ и посмотреть обнаружится ли дѣйствіе.

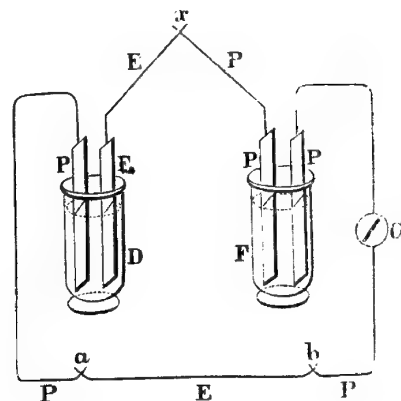


Фиг. 524.

Я имѣлъ такое довѣріе къ инструменту что былъ удивленъ, видя что лягушка содрагалась при замыканіи, тогда какъ стрѣлка не обнаруживала ни малѣйшаго движенія. Я даже сталъ опасаться способенъ ли инструментъ измѣрять токи производимые проводниками втораго класса; но прежде чѣмъ дать вѣсь этому мнѣнію, сдѣлалъ вторую попытку: устроить другой гальванометръ, приложивъ все стараніе чтобы онъ удался лучше предшествовавшаго. Онъ дѣйствительно былъ значительно болѣе деликатнаго устройства и далъ несомнѣнные показанія тока лягушки. Когда сосуды были наполнены простою водою, отклоненія были незначительнаго числа градусовъ, но съ соленымъ растворомъ первыя движенія стрѣлки были до 10°, 20° и даже 30°. Токъ лягушки идетъ отъ мускуловъ къ нервамъ, то-есть отъ ногъ къ головѣ. Прибавимъ что со времени Нобили гальванометръ съ значительнымъ числомъ оборотовъ тонкой проволоки сдѣлался главнымъ средствомъ для электро-физиологическихъ опытовъ (Маттеучи, Дюбуа-Реймонъ и другіе).

§ 369. Изслѣдованіе помощью гальванометра связи тока съ химическими процессами цѣпи. Гальванометръ, способный обнаружить въ цѣпи, куда онъ введенъ, присутствіе самаго слабаго тока электричества особенно удобенъ для доказательства важнаго положенія, что токъ въ гальванической батареѣ наступаетъ, прекращается, усиливается и ослабѣваетъ одновременно съ наступленіемъ, прекращеніемъ, усиленіемъ и ослабленіемъ химической дѣятельности

въ элементахъ и производится исключительно тѣмъ электричествомъ какое приводится въ движеніе химическими процессами, наступающими какъ скоро цѣпь замкнута. Фарадей воспользовался гальванометромъ для этой цѣли. Изъ числа его опытовъ упомянемъ о любопытномъ опытѣ съ растворомъ въ водѣ стринстаго потасія. Растворъ этотъ хорошо проводитъ электричество, но не дѣйствуетъ на желѣзо и платину, изъ которыхъ Фарадей и слагаетъ цѣпь. „D и F“ (фиг. 525) суть, говоритъ онъ, два стеклянные сосуда наполненные концентрированнымъ растворомъ стринстаго потасія, въ который погружаю, дюйма на два, четыре металлическихъ дощечки въ 0,5 дюйма шириною; три изъ нихъ, означенныя буквами P, P, P изъ платины, четвертая E изъ желѣза. Онъ соединенъ желѣзными и платиновыми проволоками. При G находится гальванометръ. При такомъ расположеніи представляются три непосредственныя прикосновенія платины и желѣза, а именно при a, b и x. Два первыя противоположны одно другому и могутъ разсматриваться какъ двѣ противо-

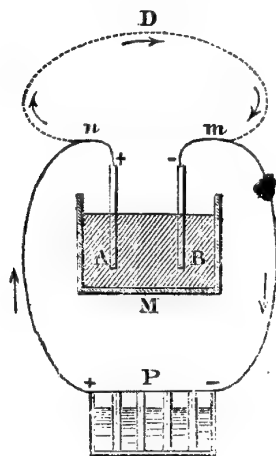


Фиг. 525.

ложныя, нейтрализующіяся силы; третьему не противоположено никакого металлическаго прикосновенія. Въ такой замкнутой цѣпи не обнаруживается никакого тока, и стрѣлка гальванометра остается въ покоѣ. Между тѣмъ цѣпь способна проводить самыя слабыя токи, ибо если дать разную температуру мѣстамъ a и b, то произойдетъ термоэлектрический токъ и стрѣлка получитъ постоянное отклоненіе въ 30°, 40° и даже 50°. Но если замѣнить желѣзную пластинку оловянной или еще лучше мѣдной, на которая стринистый потасій можетъ оказать

химическое дѣйствіе, то, при замыканіи цѣпи, немедленно обнаруживается токъ: при мѣдной пластинкѣ образуется постепенное сѣрнистая мѣдь.

§ 370. Изслѣдованіе помощью гальванометра явленій поляризаціи электродовъ. Вторичныя батареи. Газовая батарея. Двѣ платиновыя пластинки (фиг. 526) опущенныя въ кислую воду



Фиг. 526.

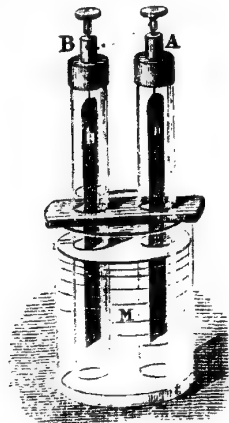
и соединенныя съ гальванометромъ не даютъ тока. Но если, прекративъ сообщеніе съ гальванометромъ, соединить на нѣкоторое время эти пластинки съ полюсами гальванической батареи, такъ чтобъ онѣ служили электродами въ процессѣ разложенія воды, то, прервавъ затѣмъ токъ и вновь сообщивъ пластинки съ гальванометромъ, замѣтимъ сильное дѣйствіе, потомъ мало по малу ослабѣвающее. Явленіе объясняется тѣмъ что при разложеніи воды платиновые электроды покрываются слоемъ газовъ, — положительный слой выдѣляющагося при немъ кислорода, отрицательный слой водорода, — и вслѣдствіе этого электризуются: электродъ покрытый водородомъ приобретаетъ отрицательное, покрытый кислородомъ положительное назлектризованіе. Явленіе именуется электрическою поляризациею электродовъ и есть одинъ изъ случаевъ возбужденія электричества чрезъ прикосновеніе разнородныхъ тѣлъ. При этомъ пластинка покрытая водородомъ получаетъ роль цинка, и поляризаціонный токъ въ жидкости идетъ отъ электрода покрытаго водородомъ къ электроду покрытому кислородомъ, вѣ ея отъ кислороднаго къ водородному. Но такъ какъ начальный токъ батареи, произведшій разложеніе воды, идетъ внутри этой жидкости отъ электрода на которомъ выдѣляется кислородъ къ тому гдѣ выдѣляется водородъ, то понятно что во время самаго разложенія воды поляризаціонный токъ, стремящійся возникнуть, дѣйствуетъ обратно току батареи, производящему поляризацию. Вотъ почему въ опытѣ съ разложеніемъ воды, токъ, въ началѣ сильный, затѣмъ ослабѣваетъ. Подобнымъ образомъ выдѣленіе водорода на платинѣ, углѣ, мѣди самого элемента (предполагая его съ одною жидкостью) электрически поляризуетъ эти тѣла и дѣйствуетъ

въ ущербъ силѣ тока, постепенно его ослабляя. Отсюда главнымъ образомъ происходитъ непостоянство элементовъ съ одною жидкостью (объ этомъ непостоянствѣ и средствахъ къ его устраненію было говорено въ § 362. Водородъ какъ электроположительное тѣло играетъ роль подобную той какую играютъ бы цинкъ, еслибы покрывалъ платину, мѣдь или уголь: въ элементѣ оказываются какъ бы двѣ пластинки цинка опущенныя въ жидкость (въ § 362 мы видѣли что съ теченіемъ времени водородъ и дѣйствительно замѣняется цинкомъ, какъ показавъ Даниель).

Явленіе поляризаціи электродовъ объясняетъ дѣйствіе такъ называемыхъ *вторичныхъ батарей*, открытое германскимъ ученымъ Риттеромъ (1803). Если, вмѣсто того чтобы составлять столбъ изъ разнородныхъ металловъ, сложить его изъ кружковъ одного и того же металла, напримѣръ, изъ серебрянныхъ монетъ, переложенныхъ бумажками смоченными кислую водою, и потомъ пропустить чрезъ него нѣкоторое время токъ гальванической батареи, то каждый кружокъ покроется на одной сторонѣ слоемъ кислороднаго, на другой слоемъ водороднаго газа и чрезъ это электрически поляризуется. Соединивъ полюсы такой *вторичной батареи*, получимъ продолжающійся нѣкоторое время сильный токъ. Этотъ временный токъ можетъ быть сильнѣе тока заряжающей батареи; давать, напримѣръ, болѣе блестящія искры, сильнѣе разлагать воду. Но длится онъ лишь короткое время.

Электрическою поляризациею объясняется также дѣйствіе *газовой батареи* Грова. Фиг. 527 изображаетъ элементъ таковой батареи. Это есть родъ вольтметра изъ двухъ платиновыхъ пластинокъ заключенныхъ въ стеклянныхъ трубкахъ, изъ коихъ одна наполнена водородомъ, другая кислородомъ. Первая представляетъ собою отрицательный, вторая положительный полюсъ элемента. Рядъ такихъ элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно разноименными полюсами образуетъ батарею. По мѣрѣ дѣйствія, количество газовъ постепенно уменьшается, такъ какъ, вслѣдствіе тока, на платинѣ окруженной водородомъ выдѣляется кислородъ, на платинѣ же окруженной кислородомъ водородъ; происходитъ соединеніе газовъ и образованіе воды.

§ 371. Отклоненіе магнитной стрѣлки токомъ обыкновеннаго электричества, возбуждаемаго треніемъ. Магнитная стрѣлка отклоняющаяся дѣйствіемъ тока или гальвано-



Фиг. 527.

метръ есть главное средство для обнаруженія присутствія тока въ цѣпи. Стрѣлка испытываетъ значительное дѣйствіе въ такихъ случаяхъ когда помощью электроскопа можно обнаружить слабые признаки электричества лишь при чрезвычайныхъ предосторожностяхъ (напримѣръ, въ случаѣ одного гальваническаго элемента въ обыкновенныхъ условіяхъ его дѣйствія). Съ другой стороны, изслѣдователямъ электромагнитныхъ явленій долгое время не удавалось произвести отклоненія стрѣлки дѣйствіемъ обыкновеннаго электричества (помощію электрической машины или разряда лейденской банки; и опыты швейцарскаго ученаго Колладона который въ 1826 г. произвелъ отклоненіе стрѣлки чувствительнаго гальванометра, пропуская чрезъ него произведенный при посредствѣ острівъ, замедленный разрядъ лейденской батареи — даже подвергались сомнѣнію. Фарадей (1833), занимаясь изслѣдованіемъ „тождества электричества различнаго происхожденія“, *) тщательными опытами обнаружилъ этого рода дѣйствіе и вывелъ важныя заключенія о сравнительномъ характерѣ двухъ главныхъ формъ электрическихъ явленій: напряженнаго электричества, возбуждаемаго треніемъ, и электричества гальваническаго тока. Фарадей производилъ опыты помощью довольно сильной электрической машины **) и простаго гальванометра съ небольшимъ числомъ оборотовъ мѣдной проволоки обмотанной шелкомъ. Чтобы дать электричеству возможно свободный истокъ, устроивался отводящій въ землю каналъ или разряжающій отводъ, а именно: „достаточно толстая проволока сообщалась сначала съ металлическими газовыми трубами зданія, а послѣ съ уличными газопроводными трубами и наконецъ съ металлическими водопроводными трубами Лондона. Дѣйствіе было такъ совершенно что электричество самого слабаго напряженія вводилось мгновенно.“ Чтобы предохранить стрѣлку гальванометра отъ непосредственнаго электрическаго вліянія машины, стеклянный колпакъ, прикрывавшій гальванометръ, былъ внутри и внѣ выложенъ оловянны-

*) Обыкновенное электричество, гальваническое электричество, магнито-электричество, термо-электричество, животное электричество.

**) „Машина имѣла кругъ пятидесяти дюймовъ въ діаметрѣ и двѣ пары натирающихъ подушекъ; кондукторъ состоялъ изъ двухъ цилиндровъ соединенныхъ третьимъ (какъ на фиг. 478, стр. 552)... При хорошемъ возбужденіи, машина при одномъ оборотѣ круга давала изъ кондуктора отъ десяти до двѣнадцати искръ, каждая въ дюймъ длиною. Искры отъ десяти до четырнадцати дюймовъ длиною легко можно было получить изъ кондуктора. Каждый оборотъ требовалъ около четырехъ пятыхъ секунды. Батарея состояла изъ пятнадцати одинаковыхъ банокъ. Онѣ были обложены на высотѣ восьми дюймовъ, считая отъ дна, и имѣли въ окружности двадцать три дюйма каждая“.

ми листами, а верхняя часть, остававшаяся необложенною, дабы можно было наблюдать стрѣлку, была прикрыта рѣшеткой изъ проволоки со многими остріями. Когда рѣшетка и обѣ обкладки были соединены съ разряжающимъ отводомъ, можно было подносить къ гальванометру, на разстояніе дюйма, изолированные острія или шарики, соединенные съ машиной во время сильнѣйшей ея дѣятельности, и стрѣлка ни малѣйшимъ образомъ не обнаруживала обыкновенныхъ электрическихъ притяженій или отталкиваній“.

При такихъ условіяхъ, Фарадей безъ труда обнаружилъ дѣйствіе потока обыкновеннаго электричества на магнитную стрѣлку. Единственное условіе, замѣчаетъ онъ, — „повидимому въ томъ чтобы дать этому потоку время обнаружить свое дѣйствіе.“ Опыты съ батареями производились такъ. „Обкладки защищавшіе гальванометръ были, описываетъ Фарадей, соединены съ отводящимъ каналомъ; одинъ конецъ В гальванометра я соединилъ съ внѣшнею обкладкою батареи и какъ конецъ этотъ такъ и обкладку сообщилъ съ отводящимъ каналомъ. Другой конецъ А гальванометра былъ соединенъ съ мокрой нитью, въ четыре фута длиною, и съ металлическимъ разрядникомъ. Когда батарея была заряжена положительнымъ электричествомъ отъ сорока оборотовъ машины, ее разряжали помощью нити и разрядника чрезъ гальванометръ. Стрѣлка тотчасъ приходила въ движеніе. Пока стрѣлка совершала свое качаніе въ первомъ направленіи и возвращалась, машину вертѣли и когда стрѣлка при качаніяхъ опять принимала первое направленіе разрядъ вторично посылался чрезъ гальванометръ. Послѣ немногихъ повтореній разряда качанія возросли до 40° по обѣ стороны отъ положенія покоя.“ Если соединеніе съ гальванометромъ было сдѣлано такъ что разрядъ шелъ отъ В къ А, то стрѣлка получала импульсы въ противоположную сторону съ первымъ случаемъ. Опытъ оставался безъ замѣтнаго измѣненія когда тонкая и длинная нить была замѣнена толстѣею и короткимъ шнуркомъ. Затѣмъ, чтобы обнаружить прямое дѣйствіе машины „батарея была удалена и соединенія устроены такъ что токъ отъ кондуктора машины проходилъ чрезъ приложенный разрядникъ, мокрый шнурокъ и обороты проволоки гальванометра въ разряжающій отводъ, гдѣ и разсѣивался. Токъ можно было всякую минуту прервать, — или удаляя разрядникъ или переставляя вертѣть машину или наконецъ соединя кондукторъ съ отводомъ помощью другаго разрядника. Точно также токъ могъ быть мгновенно возобновленъ. Стрѣлка, если качалась съ умѣренною скоростію и съ малыми размахами, употребляла двадцать пять ударовъ моихъ часовъ (которые дѣлали 150 ударовъ въ минуту) чтобы пробѣжать дугу качаній въ данное направленіе и столько же чтобы пройти ее въ направленіи обратномъ. Когда стрѣлка успокоилась, пускали, въ продолженіи двадцати пяти часовыхъ ударовъ, токъ прямо отъ ма-

шины чрезъ гальванометръ; потомъ прерывали въ продолженіи двадцати ударовъ, опять пускали въ продолженіи того же времени, опять прерывали и т. д. Стрѣлка скоро начала видимо качаться, и чрезъ многократное повтореніе дѣйствія качаніе доходило до 40° и болѣе. При перемѣнѣ направленія тока въ гальванометръ, измѣнялось и отклоненіе стрѣлки. Ея движеніе всегда было согласнаго направленія съ тѣмъ какое происходило при употребленіи гальваническаго элемента. Я замѣнилъ мокрый свуръ мѣдною проволокою такъ что электричество проходило въ отводъ прямо чрезъ проводочный проводникъ, часть котораго составляли обороты гальванометра. Дѣйствіе было то же самое. Въмѣсто того чтобы проводить электричество чрезъ систему, касаясь разрядникомъ кондуктора, какъ до сихъ поръ, — на разрядникъ укрѣплялись четыре острия, которыя и приближались къ кондуктору дюймовъ на двѣнадцать, когда требовалось произвести токъ; удалялись когда требовалось прервать. Когда было, за исключеніемъ этихъ измѣненій, поступлено какъ прежде, стрѣлка сильно отклонилась, совершенно согласно съ прежними результатами... Наконецъ я провелъ электрическій токъ чрезъ стеклянный колоколь, изъ котораго былъ выкаченъ воздухъ, такъ что электричество распространялось по подобію сѣвернаго сіянія и затѣмъ чрезъ гальванометръ въ землю. Оно и тутъ дѣйствовало отклоняющимъ образомъ на стрѣлку съ равной повидному, силою какъ прежде*.

§ 372. Зависимость отклоненія стрѣлки отъ количества электричества проходящаго чрезъ проводникъ. Когда было обнаружено дѣйствіе тока обыкновеннаго электричества на стрѣлку, то представилась возможность привести разборъ электромагнитныхъ явленій къ понятіямъ приобретеннымъ чрезъ изученіе обыкновенныхъ электрическихъ дѣйствій. Теорія обыкновенныхъ электрическихъ явленій сводится, какъ мы видѣли, къ двумъ главнымъ понятіямъ: количеству электричества и плотности (нагляднѣе, толщина электрическаго слоя въ разсматриваемомъ мѣстѣ поверхности проводника; тоже понятіе менѣе точно, выражается терминомъ *электрическое напряженіе* *). Требуется рѣшить, въ какой мѣрѣ дѣйствіе проводника на стрѣлку зависитъ отъ количества проходящаго чрезъ него въ данное время электричества и въ какой мѣрѣ зависитъ оно отъ электрической плотности на его поверхности.

Разныя количества обыкновеннаго электричества, будучи пропускаемы чрезъ гальванометръ при разнообразныхъ условіяхъ, производятъ ли равныя отклоненія стрѣлки? спрашивалъ себя Фарадей. „Я вынулъ, отвѣчаетъ онъ, изъ батареи семь банокъ оставивъ восемь... Эти восемь были заряжены тридцатью оборотами машины и потомъ разряжены чрезъ гальванометръ, причемъ

*) Правильнѣе сохранить терминъ напряженіе для обозначенія того, что въ высшей математической теоріи электрическихъ явленій именуется *потенціаломъ*.

въ цѣпь введенъ былъ толстый мокрый свуръ около 10 дюймовъ длиною. Стрѣлка отклонилась на $5\frac{1}{2}$ дѣлений отъ нуля (произвольной) скалы гальванометра и при качаніи перешла тоже почти на $5\frac{1}{2}$ дѣлений по другую сторону. Затѣмъ были присоединены остальные семь банокъ и всѣ пятнадцать заряжены опять тридцатью оборотами машины (слѣдовательно приблизительно тѣмъ же количествомъ электричества)... При разряженіи чрезъ гальванометръ стрѣлка пришла въ качаніе и достигла совершенно того же дѣленія, какъ въ первомъ случаѣ. Опыты съ восьмью и пятнадцатью банками были много разъ попеременно повторены и всегда давали тотъ же результатъ. „Затѣмъ батарея заряжалась пятидесятью оборотами машины и была разряжена разъ чрезъ одну тонкую мокрую нить. Другой разъ чрезъ тонкій смоченный дистиллированную водою свуръ 38 дюймовъ длиною, третій разъ чрезъ свуръ въ двѣнадцать разъ болѣе толстый, при 12 дюймахъ длины, смоченный разжиженною кислотою. Въ случаѣ толстаго свура разрядъ проходилъ разомъ; въ случаѣ длиннаго протекало замѣтное время, — отъ двухъ до трехъ секундъ при употребленіи одной нити, — прежде чѣмъ электрометръ Генлея, стоявшій на батарее, совсѣмъ опускался. Проходившее электричество, очевидно, чрезвычайно разнилось въ напряженіи но отклоненіе было то же самое. Не много меньше въ случаѣ толстаго свура отъ боковой потери электричества вслѣдствіе значительности напряженія“.

„Отсюда слѣдуетъ, заключилъ Фарадей, что если электричество въ томъ же абсолютномъ количествѣ проходитъ чрезъ гальванометръ, то каково бы ни было его напряженіе, отклоняющее дѣйствіе на стрѣлку остается одинаковымъ.“ Заряжая далѣе батарею разными количествами (разнымъ числомъ оборотовъ машины), Фарадей заключилъ вообще что „отклоняющая сила электрическаго тока прямо пропорціональна абсолютному количеству проходящаго электричества, каково бы ни было его напряженіе“.

Разпространяя заключеніе на случай гальванической цѣпи, Фарадей установилъ общепринятое нынѣ положеніе, что и въ этомъ случаѣ отклоненіе стрѣлки свидѣтельствуетъ о количествѣ электричества проходящаго въ данное время чрезъ дѣйствующій на стрѣлку проводникъ. А такъ какъ элементъ даже весьма малыхъ размѣровъ оказываетъ безъ сравненія болѣе энергическое дѣйствіе на стрѣлку чѣмъ электричество сильной машины или лейденской батареи, то Фарадей вывелъ заключеніе что въ замкнутой цѣпи включающей такой элементъ, приводится въ движеніе сравнительно громадное количество электричества, хотя прохожденіе его сопровождается очень слабымъ напряженіемъ на поверхности проводника *),

*) Желая держаться ближе къ указанію опыта и сохранять простое понятіе о напряженіи электричества, какъ о толщинѣ

Сравнивая действие на магнитную стрелку разряда упомянутой лейденской батареи заряженной тридцатью оборотами электрической машины значительных размеров, с действием, в продолжение трех секунд, маленького гальванического элемента (из цинковой и платиновой проволоки $\frac{1}{16}$ дюйма толщины, опущенных на $\frac{1}{2}$ дюйма в воду, едва кислую через прибавление серной кислоты), Фарадей нашел отклонение магнитной стрелки одинаковым. Он заключил, что количество электричества, развиваемое малым элементом в продолжение трех секунд, весьма значительно, что оно больше чем сколько решился бы кто-либо пропустить разом через свое тело. Давая своему определению более точное выражение, Фарадей вывел, что количества электричества, доставляемого элементом и пробгающего в проводник, соединяющем полюсы, в продолжение времени, когда разлагается грань воды, было бы достаточно для сильного заряда 800.000 лейденских банок среднего размера. Таким образом, говорит Фарадей, „химическое действие грана воды на четыре грана цинка развивает столько же электричества как сильная гроза“.

Буссъ, Веберъ и Кольраушъ подтвердили выводъ Фарадея. Веберъ, и Кольраушъ, на основаніи своихъ измѣреній, нашли что еслибы собрать электричество, пробгающее въ гальванической цепи въ продолженіи того времени, когда въ элементъ разлагается девять миллиграммовъ воды и выдѣляется одинъ миллиграммъ водорода, и „сосредоточить это количество электричества, предполагая его положительнымъ, въ объектъ а равное ему количество отрицательнаго электричества въ лежащемъ

электрическаго слоя на поверхности проводника, мы избѣжали выраженія „электричество въ болѣе или менѣе напряженномъ состояніи“, говоря объ электричествѣ текущемъ въ толщѣ проводника. Но не рѣдко различіе между обыкновеннымъ и гальваническимъ электричествомъ характеризуютъ, сравнивая первое съ газомъ въ маломъ количествѣ, но сильно сжатымъ, а второе съ большимъ количествомъ газа при слабомъ давленіи. Но это сравненіе едва ли можетъ служить къ уясненію теоріи. Понятіе напряженія въ смыслѣ плотности или толщины слоя, прилагается лишь къ свободному электричеству, обнаруживающемуся на поверхности проводника чрезъ который идетъ токъ, и неприменимо къ электрическому состоянію толщѣ проводника, въ которой, согласно теоріи, движутся въ противоположныя стороны въ равныхъ количествахъ разноименныя электричества, такъ что электрическое состояніе можно разсматривать какъ *нейтральную смѣсь*, тѣмъ отличающуюся отъ нейтральной смѣси естественнаго (неназлектризованнаго) состоянія тѣла, что составляющія ее частицы находятся въ движеніи. Распределеніе свободной жидкости на поверхности проводниковъ въ данной цепи находится, впрочемъ, въ связи съ количествомъ электричества проходящаго внутри, и по первому можно дѣлать заключенія о второмъ.

подъ облакомъ мѣсть земной поверхности, то притяженіе между облакомъ и землею при разстояніи 1000 метровъ, выразилось бы въсомъ 2.268.1000 килограммовъ“.

§ 373. Сравненіе магнитныхъ и химическихъ дѣйствій тока. Химическое дѣйствіе также пропорціонально количеству проходящаго электричества. Законъ Фарадея. *) Сравнивая, даѣе, химическое дѣйствіе электричества доставляемаго 30 оборо-

*) Мы уже неоднократно говорили о трудахъ Фарадея. Приведемъ нѣсколько біографическихъ свѣдѣній объ этомъ величайшемъ изъ физиковъ нынѣшняго столѣтія. Фарадей былъ самоучка. Сынъ кузнеца, онъ до тринадцати лѣтъ ходилъ въ приходское училище, до двадцати жилъ въ мальчикахъ у переплетчика, двадцати одного года вступилъ помощникомъ лаборанта въ лабораторію Деви, при Королевскомъ Институтѣ, заведеніи основанномъ Румфордъ на частныя средства и существующемъ взносами членовъ; чрезъ нѣсколько лѣтъ является великимъ ученымъ, проводитъ всю жизнь при учрежденіи его пріютившемъ, и только подъ конецъ смѣняетъ свое скромное помѣщеніе на помѣщеніе въ одномъ изъ дворцовъ, но отказывается отъ званія баронета, такъ какъ „оно ничему научить его не можетъ“. Фарадей такъ описываетъ свой первый шагъ на ученое поприще, рѣшившій судьбу его жизни. „Когда я былъ, говорилъ онъ, подмастеремъ у переплетчика, я очень любилъ опыты, и мысль продолжать занятіе ремесломъ внушала мнѣ живое отвращеніе. Случилось, что одинъ членъ Королевскаго Института взялъ меня съ собою слушать послѣднія лекціи курса, который преподавалъ сэръ-Гумфри Деви на Албамарль-Стритъ. Я дѣлалъ замѣтки и тщательно переписалъ ихъ потомъ въ томъ in quarto. Я почувствовала тогда желаніе,—на которое смотрѣлъ какъ на эгоистическое и почти виновное чувство,—оставить ремесло и поступить подъ знамя науки; ибо, я воображалъ, наука должна исполнять любви и великодушія тѣхъ кто ею занимается. Итакъ я принялъ смѣлое рѣшеніе написать сэръ-Гумфри Деви, высказать ему мое желаніе и выразить надежду, что онъ поможетъ мнѣ осуществить его, если представится случай. Вѣсть съ тѣмъ я послалъ ему составленную мною записку его чтеній. Моя просьба дошла до Деви въ концѣ 1812 года, а въ началѣ 1813 онъ пригласилъ меня побывать у него и говорилъ мнѣ о мѣстѣ помощника препаратора, вакантномъ въ Институтѣ. Но содѣйствуя удовлетворенію моихъ научныхъ стремленій, онъ вѣсть съ тѣмъ не совѣтовалъ мнѣ отказываться отъ предстоявшей мнѣ перспективы, говоря что наука суровая госпожа, и что въ денежномъ отношеніи она мало вознаграждаетъ поступающихъ на ея службу. Убѣжденіе мое въ нравственномъ превосходствѣ ученыхъ возбудило его улыбку, и онъ прибавилъ, что предоставляетъ опыту

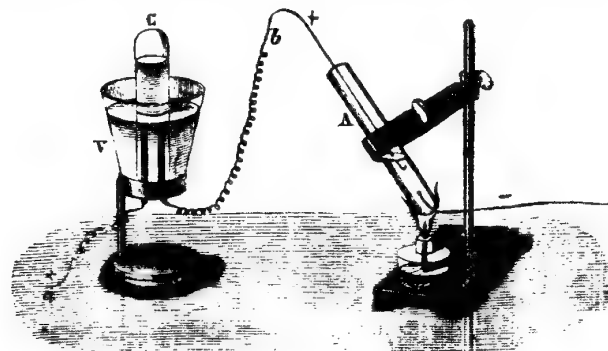
тами машины и пропускаемого, помощью платиновой проволоки, сквозь бумажку положенную на платиновой пластинке и пропитанную раствором йодистого потасия (при этомъ, вслѣдствіе разложенія йодистаго потасія, образуется вокругъ точки прикосновенія проволоки бурое пятно) съ химическимъ дѣйствіемъ, въ тѣхъ же условіяхъ, своего маленькаго элемента въ продолженіе трехъ секундъ, Фарадей нашелъ дѣйствія эти одинаковыми (пятна были одинаковой величины). Отсюда Фарадей вывелъ, какъ весьма вѣроятное, слѣдующее положеніе: *подобно магнитному дѣйствію и химическое дѣйствіе тока пропорционально абсолютному количеству проходящаго электричества.*

нѣсколькихъ лѣтъ просвѣтитъ меня въ этомъ отношеніи. Наконецъ, благодаря его ходатайству, я вступилъ въ Королевскій Институтъ въ мартѣ 1813 года, въ качествѣ помощника препаратора, а въ слѣдующемъ октябрѣ сопровождалъ Деви за границу, какъ препараторъ и секретарь. Я возвратился въ Англію въ апрѣлѣ 1815 года и опять занялъ мое мѣсто въ Институтѣ, гдѣ и остался съ тѣхъ поръ. Когда Деви получилъ письмо Фарадея, онъ показалъ его одному изъ своихъ товарищей по Институту, Пипису, говоря: «Вотъ письмо одного молодого человѣка, по имени Фарадея, онъ слушалъ мои лекціи и проситъ дать ему мѣсто при Королевскомъ Институтѣ; что мнѣ сдѣлать?» — „Что сдѣлать? отвѣчалъ Пиписъ: — дать ему мыть стклянки; если онъ на что-нибудь годенъ, онъ сейчасъ примется за дѣло; если откажется, то ни къ чему негоденъ“. Когда Фарадей получилъ извѣстность какъ химикъ, къ нему обращались фабриканты съ техническими вопросами, давая значительное вознагражденіе за трудъ. Такъ техническіе анализы, произведенные имъ въ 1830 году доставили ему приращеніе дохода въ тысячу фунтовъ и столько же въ 1831. Но въ 1832 году, когда эти, какъ онъ называлъ ихъ, „профессіональныя занятія“ легко, по замѣчанію Тиндаля, могли доставить ему 5000 фунтовъ, они уменьшились до 155; Фарадей весь отдался ученымъ занятіямъ. Въ слѣдующіе годы этого рода доходы уменьшились еще болѣе; отъ 1839 до 1845 не превышали 22 фунтовъ, а съ 1845 и вовсе прекратились. Принимая въ расчетъ продолжительность его жизни, можно сказать, замѣчаетъ Тиндаль, что этотъ сынъ кузнеца и подмастерье переплетчика долженъ былъ сдѣлать выборъ между состояніемъ въ 150.000 фунтовъ и скудною даромъ наукой. Онъ выбралъ послѣднюю и остался бѣднякомъ. Прибавимъ что Фарадей принадлежалъ къ немногочисленному толку Гласситовъ (2000 во всей Англіи; былъ усерднымъ проповѣдникомъ и старшиной своей релігіозной общины; неуклонно присутствовалъ при церковномъ служеніи и обычной Гласситамъ братской трапезѣ между двумя службами въ воскресенье.

Справедливость этого важнаго положенія была въ послѣдствіи оправдана тщательными опытами другихъ испытателей. Для этой цѣли вводятъ въ цѣль одновременно проволоку гальванометра и вольтметра, и пропуская такимъ образомъ чрезъ нихъ одинъ тотъ же токъ, а слѣдовательно одно и то же количество электричества, сравниваютъ показанія обоихъ измѣрительныхъ снарядовъ. Сравненія этого рода привели къ заключенію что показанія обоихъ снарядовъ согласны между собою.

Чтобы еще болѣе повѣрить мысль что опредѣленному количеству проходящаго электричества соотвѣтствуетъ опредѣленное химическое дѣйствіе, Фарадей вводилъ въ одну цѣль нѣсколько вольтметровъ, давая различную величину ихъ электродамъ, наполняя ихъ водою смѣшанною съ весьма различными количествами кислоты, и всегда находилъ что общій проходящій чрезъ нихъ токъ въ каждомъ выделялъ одинаковое количество газовъ.

Фарадей вводилъ далѣе въ одну цѣль тѣла различнаго химическаго состава, разлагающіяся токомъ, и измѣрялъ количества выделявшихся веществъ. Эти измѣренія привели къ замѣчательному результату, понятію о которомъ можно получить изъ слѣдующаго опыта Фарадея. Онъ пропускалъ общій токъ чрезъ вольтметръ V и чрезъ трубочку А съ хлористымъ оловомъ (фиг. 528) приведеннымъ въ расплавленное состояніе нагрѣ-



Фиг. 528.

ваніемъ на спиртовой лампѣ. Токъ входилъ въ хлористое олово чрезъ платиновую проволоку и выходилъ чрезъ другую впаивную чрезъ дно и оканчивавшееся шарикомъ. Хлористое олово разлагалось на хлоръ; отдѣлявшійся при положительнй проволоки, олово, осѣдавшее на шарикѣ отрицательнаго электрода. Когда въ вольтметрѣ собралось достаточное количество

причины новых явлений открытых Эрстедомъ, было слѣдующее. Такъ какъ порядокъ (въ какомъ открыты факта, очевидно, не имѣетъ никакого значенія по отношенію къ слѣдствіямъ выводимымъ изъ

физику, химию, стихи французскихъ и латинскихъ классиковъ, мелкія подробности отличительныхъ признаковъ растений по Жюссье, животныхъ по Кювье. Его баснословная развѣянность еще при жизни его стала легендой; онъ любилъ отдаваться потоку воображенія; всякая обязанность была ему въ тягость. Его ученая жизнь казалась оконченною, когда открытіе Эрстеда потрясло въ его превосходной умственной организаціи струны, о существованіи которыхъ не подозрѣвали никто, ни онъ самъ. Чтобы дать своей мысли матеріальную форму, онъ, столь неловкій, сдѣлался искусѣйшимъ строителемъ пиструментовъ; близорукій, онъ сдѣлалъ видимыми всѣмъ, для тѣлесныхъ очей и помощью ясѣйшихъ опытовъ, свойства матеріи, которыя одно размысленіе открыло его умственному глазу. Мечтатель былъ объятъ живымъ чувствомъ, и его внезапно воспарившее разуміе въ нѣсколько недѣль раскрыло новыя возвращенія на частичное строеніе магнитовъ, новыя факты, предсказанные съ удивительною логикой и вполне оправданные; наконецъ, законы, составляющіе кодексъ динамическаго электричества, освѣщенный уже временемъ.

„Фарадей былъ средняго роста, живъ, взглядъ насторожъ, движенія быстры и увѣренны, ловкость въ производствѣ опытовъ ни съ чѣмъ не сравнимая, точенъ, аккуратенъ, весь преданъ своимъ обязанностямъ. Когда въ молодости онъ былъ преподавателемъ на лекціяхъ химіи въ Институтѣ, каждый опытъ, имъ произведенный, такъ соответствовалъ мысли и слову профессора, что про послѣдняго говорили: онъ преподаетъ по бархату. Когда въ концѣ жизни онъ поиниужъ каяедрѣ и сдѣлался вновь слушателемъ, онъ слѣдилъ глазами за снарядами, надзирая за ихъ ходомъ, чтобы ускорить или замедлить его, исправляя каждый недостатокъ, какъ бы исполняя непринужденно должность естественнаго регулятора, отождествившагося съ мысли преподавателя. Онъ жилъ въ своей лабораторіи, среди своихъ снарядовъ; онъ отправлялся туда утромъ и выходилъ оттуда вечеромъ, точный какъ негоціантъ, проводящій день въ своей конторѣ. Онъ посвятилъ всю свою жизнь на то, чтобы пробовать новыя опыты, находя, что короче заставить говорить природу чѣмъ пытаться ее разгадать. Принужденный, вслѣдствіе своей невѣрной и неблагодарной памяти, отмѣчать и нумеровать факты, которые открывалъ, и идеи, которыя рождались въ его умѣ, онъ составлялъ имъ тщательныя таблицы, зная, что безъ этой предосторожности никакъ не найдетъ при случаѣ того что нужно. Фарадей, который не былъ математикомъ, былъ не такъ

аналогій этими фактами представляемыхъ, то мы въ правѣ предположить, что прежде чѣмъ сдѣлалось извѣстнымъ свойство магнитной стрѣлки направляться отъ юга на сѣверъ, было узноано ея свойство располагаться, подѣ дѣйствіемъ тока, перпендикулярно къ его направленію, такъ что сѣверный полюсъ находится влѣво отъ тока; и что только потомъ уже было открыто ея свойство направляться къ сѣверу, именно этимъ самымъ влѣво перемѣщаемымъ концомъ. Простѣйшая мысль, какая въ такомъ случаѣ естественно

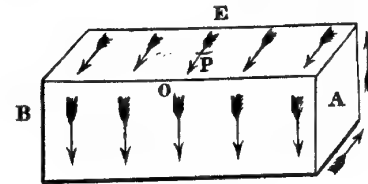
быстрѣ въ соображеніяхъ какъ Амперъ; его работа, основанная исключительно на опытѣ, была болѣе медленна, но, какъ и всякая работа, основанная на опытѣ, была болѣе созерцательна, и, Амперъ, онъ поднимался до высшаго созерцанія фактовъ какъ Амперъ, открылъ цѣлую совокупность точныхъ фактовъ и неоспоримыхъ законовъ, навсегда связавшихъ его славное имя съ исторіей электро-магнетизма“...

„Амперъ и Фарадей оба имѣли поэтическую струну, открытое сердце и высокую душу. Они не знали ревности или зависти. Всякій свѣтъ наполнялъ ихъ радостью, приходилъ ли онъ изнутри или извне, былъ ли ключомъ изъ ихъ мозга или изъ мозга соперника. Они были исполнены доброты и нѣжной любви къ молодежи. Каждый успѣхъ счастливилъ ихъ. Они склонности къ молодости и его величію, цѣнили его характеръ и приносили человечеству и его величію, цѣнили его характеръ и званіе на землѣ. Глядя на себя какъ на орудіе высшей воли, которой повиновались съ почтеніемъ; и если для тѣхъ, кому извѣстны лишь дѣла ихъ, — это гении, гордость сыновъ человеческихъ, то для знавшихъ ихъ лично — это самыя универсальныя и покорныя творенія Бога. Амперъ былъ универсальнымъ геометромъ своей эпохи, онъ любилъ разговаривать въ обществѣ, и когда его видѣли въ обществѣ съ Жюссье, Кювье, Сентъ-Илеромъ, невольно говорили: онъ знаетъ все, онъ понимаетъ все, все проникаетъ. Фарадей былъ болѣе спеціаленъ: химикъ въ началѣ карьеры, онъ мало-по-малу отклонился къ изученію физики и сосредоточился на изученіи электричества. Болѣе преданный вѣщному, онъ жилъ столько же чувствами, какъ и мыслию. Онъ не любилъ свѣтскихъ собраний, но театральныя зрѣлища привлекали его и наполняли какимъ-то лихорадочнымъ опьяненіемъ. Завѣтъ солдатовъ въ деревнѣ, буря на берегу моря, туманы въ Альпахъ возбуждали въ немъ живѣйшія ощущенія; онъ понималъ ихъ какъ живописецъ, бывалъ въ восторгѣ ими какъ поэтъ, разбиралъ ихъ какъ ученый. Взглядъ, слово, жестъ, все въ немъ свидѣтельствовало о тѣсномъ единеніи его души съ душою природы“.

представилась бы тому кто захотѣлъ бы объяснить по стоянное направленіе стрѣлки отъ юга къ сѣверу, не состояла ли бы въ томъ, чтобы предположить въ землѣ электрическій токъ направленный такъ что сѣверъ приходится влѣво отъ человека, который, лежа на ея поверхности съ лицомъ обращеннымъ къ стрѣлкѣ, принималъ бы токъ въ направленіи отъ ногъ къ головь; и заключить отсюда что токъ этотъ идетъ отъ востока къ западу перпендикулярно къ магнитному меридіану? Предположеніе о дѣйствительномъ существованіи такихъ токовъ въ землѣ, продолжалъ Амперъ, значительно къ тому же вѣроятію предположенія что земля по вещественному составу есть естественный магнитъ: прикосновение, химическія дѣйствія различныхъ веществъ составляющихъ толщу нашей планеты — достаточный источникъ разложенія электричествъ и образованія токовъ. Токи эти, связанные, повидимому, въ своемъ расположеніи, а можетъ быть и происхожденіи, съ обращеніемъ земли около оси, направляются въ каждомъ мѣстѣ отъ востока къ западу приблизительно по параллели этого мѣста; и въ общей совокупности дѣйствуютъ какъ одинъ главный экваторіальный поясъ токовъ.

„Но если, говорить Амперъ, электрическіе токи суть причина направляющаго дѣйствія земли на стрѣлку, то не въ нихъ ли должны мы искать причины дѣйствія и одного магнита на другой?“ Сравнивая, въ отношеніи магнитнаго дѣйствія, магнитъ съ землею, мы должны „разсматривать его (фиг. 529) какъ собраніе электрическихъ токовъ имѣющихъ мѣсто въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ его оси.“ Не трудно рѣшить какое должно быть направленіе этихъ токовъ. Еслибы мы мысленно замѣнили дѣйствіе земли дѣйствіемъ нѣкотораго магнита помѣщенного подъ магнитную стрѣлку, то должны бы вообразить магнитъ этотъ такъ чтобы южный его полюсъ

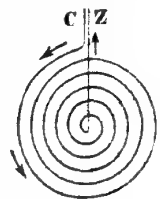
приходился подъ сѣвернымъ полюсомъ стрѣлки. При такомъ положеніи магнита, если дѣйствіе его зави-



Фиг. 529.

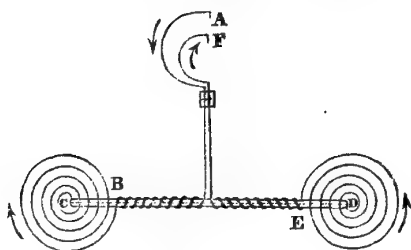
ситъ отъ находящихся въ немъ электрическихъ токовъ, токи эти на его верхней поверхности должны слѣдовательно проходить въ томъ же направленіи какъ на землѣ, то-есть отъ востока къ западу, и соответственно этому направленію огибать магнитъ параллельными поясами. Это направленіе (фиг. 529) совпадаетъ съ направленіемъ стрѣлки часовъ для наблюдателя который помѣстился бы лицомъ своимъ къ южному полюсу В разсматриваемаго магнита. Наоборотъ по отношенію къ наблюдателю держащему предъ собою сѣверный полюсъ А магнита токи послѣдняго имѣютъ направленіе обратное съ направленіемъ стрѣлки часовъ.

Основываясь на своей теоріи, Амперъ думалъ искусственно подражать магниту, или по крайней мѣрѣ одному его слою перпендикулярному оси, и для того „изогнулъ спирально (фиг. 530) мѣдную проволоку и повѣсилъ ее помощію прямолинейныхъ ея концовъ, сообщавшихся съ полюсами гальванической батареи и заключенныхъ каждый въ стеклянной трубкѣ, дабы не касались между собою.“ Эта спираль, когда проходила чрезъ нее токъ, представляла собою какъ бы одно изъ сѣчей магнита перпендику-



Фиг 530.

лярныхъ къ оси. Одна сторона ея,—та гдѣ для смотрящаго на нее наблюдателя токъ идетъ по стрѣлкѣ часовъ,—должна обнаруживать южную магнитную полярность и слѣдовательно притягиваться сѣвернымъ полюсомъ перпендикулярно подносимаго къ ней магнита и отталкиваться южнымъ; другая сторона, обнаруживая сѣверную полярность, должна притягиваться южнымъ и отталкиваться сѣвернымъ полюсомъ магнита. Опытъ вполне оправдалъ теоретическія положенія. Фиг. 531 изображаетъ удобное для опытовъ



Фиг. 531.

расположеніе спиралей Ампера, позволяющее повѣсить снарядъ на доставляющихъ токъ подставкахъ, которые опишемъ въ слѣдующемъ параграфѣ. Обнаруживъ дѣйствіе магнита на спираль, Амперъ сдѣлалъ новый шагъ. Онъ замѣнилъ магнитъ другою спиралью и поднесъ ее параллельно первой. Между спиральми обнаружилось взаимное дѣйствіе: онѣ притягивались взаимно когда ихъ токи въ обѣихъ были направлены въ одну сторону, отталкивались, когда токи имѣли разное направленіе.

Какъ скоро было открыто это явленіе, оно сдѣлалось основаніемъ всѣхъ дальнѣйшихъ изслѣдованій, исходнымъ пунктомъ теоріи. Взаимное дѣйствіе токовъ, дѣйствіе тока на магнитъ, земли на магнитъ, взаимное дѣйствіе магнитовъ все это суть частные случаи этого основнаго явленія. Послѣдующія изысканія Ампера состояли отчасти въ подтвержденіи теоріи опытами, отчасти въ изысканіи точнаго закона взаимнаго дѣйствія двухъ элементовъ электрическихъ токовъ и ма-

тематическомъ развитіи слѣдствій, вытекающихъ изъ этого закона. Въ засѣданіи 9 октября 1820 г. взаимное дѣйствіе токовъ было обнаружено Амперомъ надъ прямолинейными проводниками. Множество опытовъ и снарядовъ слѣдовали за этими первыми изысканіями. Изобрѣтеніе новыхъ снарядовъ для объясненія явленій электро-динамики (такъ назвалъ Амперъ часть физики трактующую о взаимномъ дѣйствіи токовъ между собою и съ магнитами) осталось страстью Ампера до конца жизни.

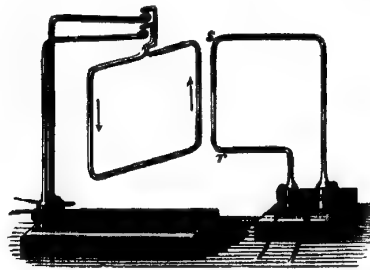
§ 375. Взаимное дѣйствіе токовъ. Открывъ явленіе взаимнаго дѣйствія токовъ помощью двухъ спирально согнутыхъ проволокъ, Амперъ привелъ опытъ къ простѣйшему случаю *прямолинейныхъ* подвижныхъ проводниковъ и доказалъ упомянутое основное положеніе:

Два параллельные тока идущіе въ одномъ направленіи притягиваются взаимно, идущіе въ разныхъ направленіяхъ отталкиваются.

Чтобъ обнаружить явленіе, должно по крайней мѣрѣ одинъ изъ проводниковъ устроить такъ чтобы онъ могъ перемѣщаться, не прерывая своего сообщенія съ батареею. Кромѣ того должно избѣгнуть дѣйствія на проводникъ частей соединяющихъ его съ батареею. Последнее достигается тѣмъ что проводникъ приводящій токъ въ подвижную проволоку и другой уводящій его, идутъ въ близкомъ разстояніи одинъ отъ другаго, такъ что одинъ уничтожаетъ дѣйствіе другаго (ибо токи направлены въ нихъ противоположно). Для доставленія подвижности проводнику употребляются различные способы. Фиг. 532 изображаетъ четвероугольный подвижной проводникъ, повѣшенный по одному изъ способовъ введенныхъ Амперомъ *). Согнутая четвероугольникомъ проволока имѣетъ небольшой перерывъ между концами и вѣшается помощью острія прищипаннаго къ одному изъ этихъ концовъ

*) Такой способъ привѣса былъ придуманъ Амперомъ первоначально для обнаруженія дѣйствія земли на токи.

и опирающагося на дно чашечки со ртутью, соединяющейся помощію своей поставки съ однимъ изъ по-

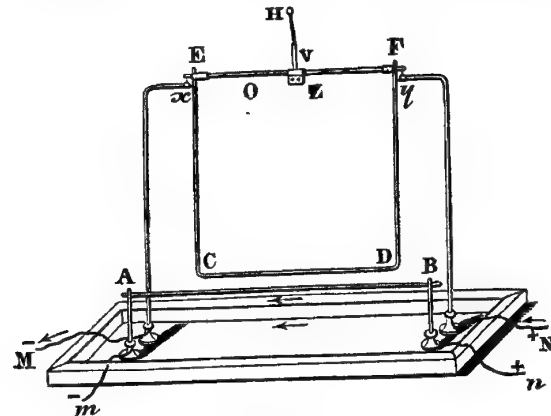


Фиг. 532.

люсовъ батареи; другой конецъ проволоки снабженъ также остриемъ и опускается, не касаясь дна, въ подобную же чашечку расположенную подъ первою и соединенную съ другимъ полюсомъ батареи. Такимъ образомъ сопротивление движению четырехугольника вокругъ вертикальной оси сосредоточивается главнымъ образомъ въ треніи перваго острія о дно его чашечки. Въшая проволоку на нити такъ чтобъ оба острія только опускались въ ртуть, не касаясь дна чашечекъ расположенныхъ одна подъ другою на продолженномъ направленіи нити, можно еще увеличить подвижность снаряда. Поднося параллельно одной изъ вертикальныхъ вѣтвей четырехугольника, вѣтвь другой проволоки, — которая соединена концами съ другою батареею или введена въ общую цѣпь съ подвижною проволокою, — не трудно оправдать по-

ложения Ампера. Снарядъ какимъ первоначально пользовался Амперъ (фиг. 533) состоялъ изъ двухъ прямолинейныхъ проводниковъ: „одинъ, говоритъ Амперъ, помѣщался на двухъ подставкахъ въ горизонтальномъ положеніи и былъ неподвиженъ; другой прикрѣплялся своими вертикальными вѣтвями къ стеклянной оси покоящейся помощію двухъ стальныхъ остриевъ на металлическихъ подставкахъ; острія эти припаены къ концамъ только что упомянутыхъ металлическихъ вѣтвей проводника; такимъ образомъ

соединеніе съ батареею устанавливается чрезъ подставки и острія. Имѣетъ слѣдовательно рядомъ два параллельныхъ проводника *CD*



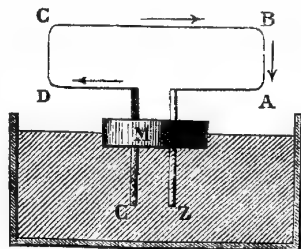
Фиг. 533.

и *AB* въ той же горизонтальной плоскости; изъ нихъ *CD* подвижный, могущій дѣлать качанія около горизонтальной линіи проходящей чрезъ концы стальныхъ остриевъ; въ своемъ движеніи онъ необходимо остается параллельнымъ неподвижному проводнику. Посредствъ стеклянной оси помѣщается надъ нею противовѣсъ, чтобъ увеличить подвижность качающейся части снаряда, чрезъ повышение ея центра тяжести. Я думалъ было первоначально что въ два проводника токъ должно проводить отъ разныхъ батарей; но это не нужно: достаточно чтобъ они составляли часть одной цѣпи.“

О характеристическихъ чертахъ явленія Амперъ замѣчаетъ слѣдующее: „Эти притяженія и отталкиванія электрическихъ токовъ существенно разнятся отъ притяженій и отталкиваній токовъ производимыхъ электричествомъ въ состояніи покоя. Во-первыхъ они, подобно химическимъ разложеніямъ, прекращаются тотчасъ какъ скоро прерывается цѣпь. Во вторыхъ въ случаѣ обыкновенныхъ электрическихъ притяженій и отталкиваній, притягиваются разноименныя электричества, отталкиваются одноименныя; въ случаѣ притяженій и отталкиваній токовъ, напротивъ того, когда двѣ проводящія проволоки помѣщены параллельно такъ что одноименныя концы ихъ находятся съ той же стороны и близко одинъ отъ другаго — происходитъ притяженіе; наоборотъ отталкиваніе обнаруживается когда токи идутъ въ противоположномъ направленіи и слѣдовательно

но одноименные концы проволок находятся на возможно дальнем между собою разстоянии. Въ третьихъ, въ случаѣ притяженія достаточно сильнаго чтобы сблизить подвижной проводникъ до прикосновенія съ неподвижнымъ, проводники эти остаются прилипшими одинъ къ другому какъ два магнита, и не удаляются тотчасъ одинъ отъ другого какъ бываетъ когда прикасаются между собою два проводника притянувшиеся потому что одинъ былъ наэлектризованъ положительно, другой отрицательно. Наконецъ... токи притягиваются въ пустотѣ точно также какъ въ воздухѣ, что также не согласно съ тѣмъ что наблюдаемъ при взаимодействіи двухъ проводниковъ наэлектризованныхъ обыкновеннымъ способомъ.

Весьма подвижной проводникъ, не требующій притомъ отдѣльной батареи, есть такъ называемый *поплавокъ Деларива*. Дощечки мѣди и цинка соединенныя проволокой, вдѣланныя въ пробочный поплавокъ и опущенныя въ воду съ кислотою представляютъ подвижной замкнутый токъ проходящій въ проволокахъ по направленію отъ мѣди къ цинку (фиг. 534).



Фиг. 534.

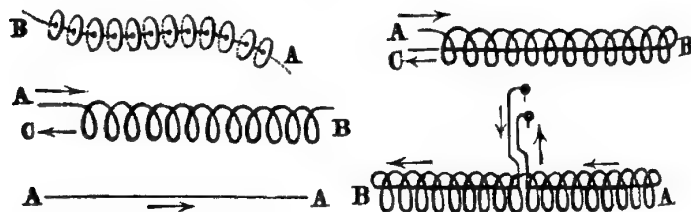
Нѣкоторые ученые хотѣли уменьшить значеніе Амперова открытія взаимнаго дѣйствія токовъ, находя что оно, какъ слѣдствіе, заключается уже въ опытѣ Эрстеда. Говорили: имѣемъ двѣ проволоки, чрезъ кокоторыя проходятъ токи, всякая изъ этихъ проволокъ порознь дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку, слѣдовательно одна изъ нихъ должна дѣйствовать на другую. На это возраженіе отвѣтъ далъ Араго. Два куска желѣза порознь притягиваютъ магнитную стрѣлку, но развѣ они оказываютъ дѣйствіе одинъ на другой?

§ 376. Ученіе о соленоидѣ. Теорія магнетизма Ампера. Желая расположить проводящую токъ проволоку такъ чтобы она служила подобіемъ не одного только слоя магнита, но цѣлаго магнита, Амперъ обвилъ проволоку улиткообразно вокругъ стеклянной трубки такъ чтобы обороты не касались одинъ другаго.

Обороты проволоки должны были представлять собою токи магнита расположенные перпендикулярно къ его оси; при этомъ Амперъ первоначально полагалъ что дѣйствіе переходовъ отъ одного оборота къ другому можетъ быть пренебрежено, если обороты сдѣланы близко между собою. Опытъ показалъ что устроенный такимъ образомъ снарядъ не представлялъ подобія магниту и, при нѣкоторомъ разстояніи, не отличался въ дѣйствіи отъ простаго прямолинейнаго тока. Амперъ скоро усмотрѣлъ что это происходитъ оттого что совокупность переходовъ отъ одного оборота къ другому образуетъ какъ бы одинъ прямолинейный токъ и слѣдовательно снарядъ есть какъ бы соединеніе ряда круговыхъ токовъ, перпендикулярныхъ къ оси и представляющихъ подобіе магниту (такую систему Амперъ назвалъ *соленоидомъ*), и прямолинейнаго тока параллельнаго оси. Но если намотанную улиткообразно проволоку возвратитъ по оси чрезъ стеклянную трубку, то токъ прямолинейной части, направляясь въ противоположную сторону съ прямолинейнымъ токомъ представляющимъ параллельную оси часть дѣйствія проволоки, будетъ отталкивать то что этотъ притягиваетъ и притягивать то что этотъ отталкиваетъ, и слѣдовательно сказанная часть дѣйствія уничтожается прямолинейнымъ проводникомъ, и останется только дѣйствіе круговыхъ токовъ перпендикулярныхъ оси, совершенно подобное дѣйствію магниту. Прибавимъ что нѣтъ надобности въ стеклянной трубкѣ на которую наматывалась бы проволока. Достаточно чтобы проволока эта была согнута надлежащимъ образомъ. Дабы не опасаться прикосновенія между собою ея частей, полезно чтобы она была изолирована на поверхности (обмотана шелкомъ, покрыта шеллакомъ и т. под.).

Фиг 535. изображаетъ 1) *теоретическій соленоидъ*, т. е. рядъ отдѣльныхъ замкнутыхъ токовъ перпендикуляр-

ныхъ оси, 2) улиткообразно согнутую проволоку какою Амперъ первоначально думалъ подражать магниту и которая въ своемъ дѣйствіи была равносильна со-



Фиг. 535.

вокупности соленоида и прямолинейнаго тока А, А 3) проволоку согнутую такъ что вліяніе прямолинейной части уничтожено проведенною внутри вѣтвью и дѣйствующую потому какъ соленоидъ, 4) подобный же соленоидъ устроенный такъ что его удобно вѣшать на подставку Ампера.

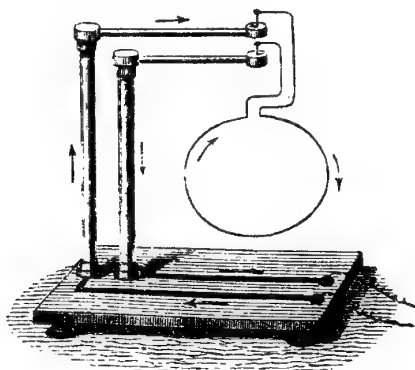
Дѣйствіе соленоида представляетъ полное подобіе съ дѣйствіемъ магнита. Подобно магниту соленоидъ имѣетъ два полюса притягиваемые разноименными и отталкиваемые одноименными полюсами магнита или другого соленоида. Отъ дѣйствія близъ лежащаго тока соленоидъ отклоняется точно также какъ магнитъ въ опытѣ Эрстеда. Земной магнетизмъ также дѣйствуетъ на соленоидъ, но такъ какъ соленоидъ соответствуетъ магниту очень малой силы, то при обыкновенномъ устройствѣ соленоидъ, въ большинствѣ случаевъ, не бываетъ достаточно удобоподвиженъ чтобы повиноваться направляющему дѣйствію земли. Впрочемъ увеличивъ діаметръ оборотовъ и тщательно озаботившись относительно удобоподвижности, можно сдѣлать соленоидъ достаточно чувствительнымъ, такъ что онъ будетъ своею осью располагаться, подобно магниту, отъ сѣвера къ югу.

Не должно, впрочемъ, думать что токи въ дѣйствительномъ магнитѣ расположены именно такъ какъ указываютъ теорія соленоида и развитое въ § 375 сравненіе магнита съ тѣломъ на поверхности котораго проходятъ токи въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ оси. Простой фактъ что каждая частица отламываемая отъ магнита есть сама самостоятельный магнитъ уже опровергаетъ такое предположеніе. Лишь въ приближенномъ теоретическомъ представленіи можно разсматривать магнитъ какъ тѣло на поверхности котораго, окружая его, пробѣгаютъ электрическіе токи. Въ дѣйствительности токи магнита, говорить Амперъ, „какъ все показываетъ, имѣютъ мѣсто около *частицъ* магнита“, ибо каждая отдѣльная частица имѣетъ свойства цѣлаго магнита (магнитный элементъ § 317). Магнитъ есть совокупность частичныхъ токовъ расположенныхъ въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ оси.

Замѣнивъ въ разсужденіяхъ § 317 понятіе *магнитный элементъ* понятіемъ *элементарный или частичный токъ* получимъ представленіе о томъ что такое есть намагниченіе и магнитъ по электрической теоріи Ампера. Такіе токи присутствуютъ въ желѣзѣ и ненамагниченной стали, но расположены въ самыхъ разнообразныхъ направленіяхъ. Намагниченіе состоитъ въ томъ что элементарные токи эти въ значительномъ числѣ поворачиваются такъ что плоскости ихъ приближаются къ параллельности, самыя же токи направлены въ одну сторону. (Ср. § 317).

§ 377. Дѣйствіе земли на токи. Земной шаръ оказывающій дѣйствіе на магнитную стрѣлку, долженъ, очевидно, дѣйствовать и на подвижные токи. „Въ первыхъ опытахъ, говоритъ Амперъ, мнѣ не удалось дѣйствіемъ земнаго шара привести ни движеніе проволоки проводящую токъ, и не столько, быть можетъ, вслѣдствіе трудности дать ей надлежащую подвижность, сколько потому что, вмѣсто того чтобы искать, въ теоріи приводящей магнитныя явленія съ электрическимъ токамъ, расположеніе снаряда особенно благоприятное для этого рода дѣйствія, я былъ занятъ идеей провести токъ такъ чтобы по возможности подражать расположенію токовъ въ магнитѣ... Это помѣшало мнѣ принять въ надлежащее соображеніе... что непосредственное дѣйствіе

земли состоитъ въ томъ чтобы помѣстить плоскости перпендикулярныя оси магнита, въ которыхъ находятся токи, параллельно нѣкоторой плоскости опредѣляемой совокупнымъ дѣйствіемъ токовъ земнаго шара и которая во всякомъ мѣстѣ перпендикулярна стрѣлкѣ наклоненія. Отсюда слѣдуетъ что земное дѣйствіе должно направлять непосредственно не прямую линію (ось магнита), а плоскость (перпендикулярную оси). Имѣя въ виду это обстоятельство, мы должны стараться подражать распредѣленію электричества по экватору магнитной стрѣлки (то-есть по плоскости проходящей чрезъ средину стрѣлки перпендикулярно ея оси)... и, расположивъ токъ такимъ образомъ, смотрѣть стремится ли земля привести его плоскость въ положеніе въ какое она стремится привести экваторъ магнита... Я заключилъ что самымъ простымъ образомъ обнаружу направляющее дѣйствіе земли, представивъ экваторъ магнитной стрѣлки въ формѣ одного тока образующаго кругъ, если и не совсѣмъ замкнутый, — тогда нельзя было бы пропустить тока, — то по крайней мѣрѣ имѣющаго лишь короткій перерывъ. Такой круговой токъ повѣшенный на подставкахъ Ампера (фиг. 536) располагается своимъ



Фиг. 536.

плоскостію перпендикулярно къ магнитному меридіану или направлению оси магнитной стрѣлки. Мы упоминали въ § 377 что дѣйствіе земли можно также обнаружить и помощью соленоида.

§ 378. Вращательныя движенія происходящія отъ дѣйствія магнита на токъ и тока на магнитъ. Протянувъ вертикально проволоку по которой шелъ токъ, Фарадей осторожно приближалъ къ ней магнитную стрѣлку и на-

блюдалъ какъ дѣйствуетъ токъ на близкомъ разстояніи на разныя части стрѣлки. Онъ пришелъ къ заключенію что если представить себѣ магнитную силу стрѣлки сосредоточенною въ ея полюсахъ, — воображая притомъ полюсы эти помѣщенными не на самыхъ концахъ стрѣлки, а на нѣкоторомъ разстояніи отъ концовъ, — то можно сказать что каждый полюсъ стрѣлки какъ бы стремится вращаться около проволоки и притомъ одинъ въ одну, другой въ другую сторону. (Точнѣе взаимодействие полюса и прямолинейнаго тока выражается правиломъ, — относящимся собственно къ взаимодействию магнитной частицы и малаго элемента тока, — что токъ стремится выдвинуть частицу и, наоборотъ, частица стремится, въ противоположномъ направленіи, выдвинуть токъ изъ общей проведенной чрезъ нихъ плоскости). Фарадей заключилъ что еслибы было возможно подвергнуть дѣйствію тока одинъ изъ полюсовъ магнита (помѣстивъ другой такъ чтобы на него не было замѣтнаго дѣйствія) и дать этому магниту свободу вращательнаго движенія, то онъ сталъ бы двигаться, кружась около тока. Съ другой стороны, по закону дѣйствія равнаго противоѣдствія, вѣтъ тока, помѣщенная у одного изъ полюсовъ магнита и достаточно удобоподвижная, должна вращаться около этого полюса. Фарадей осуществилъ это послѣднее дѣйствіе помощью снаряда, понятіе о которомъ даетъ фиг. 537. Стеклопипная трубка закрывается сверху и снизу пробками. Чрезъ нижнюю пробку проходитъ магнитъ *mn*. На пробку наливаютъ ртути. Чрезъ верхнюю пробку проходитъ платиновая проволока закрученная кольцомъ, за которое зашпиляется крючкомъ вторая платиновая проволока, погруженная кондомъ въ ртуть. Соединяють одинъ полюсъ батареи съ верхнею проволокою, другой со ртутью (помощію протянутой чрезъ нижнюю пробку проволоки или самого магнита). Какъ только чрезъ висѣщую проволоку пойдетъ токъ, она начинаетъ вращаться около полюса магнита въ томъ или другомъ направленіи (по стрѣлкѣ часовъ, если полюсъ сѣверный и токъ идетъ снизу вверхъ, или если, при нисходящемъ токѣ полюсъ магнита есть южный; и наоборотъ). Фиг. 538, на слѣдующей страницѣ, изображаетъ болѣе удобное расположеніе того же опыта. Одинъ изъ полюсовъ батареи напимѣрь положительный, приводится въ сообщеніе со ртутью; другой сообщается съ самымъ магнитомъ *B*, на которомъ держится соудъ со ртутью, отдѣленный отъ него изолирующимъ слоемъ. На конецъ магнита *A* опирается остріемъ согнутая проволока *DCCD*, опускающаяся кончиками въ ртуть. Токъ изъ ртуті



Фиг. 537.

(соединенной, допускаемъ, съ положительнымъ полюсомъ батареи) идетъ въ вѣтви $D'C'$ и DC проволоки, далѣе чрезъ остріе въ магнитъ и къ батареѣ. Проволока приходитъ во вращеніе вокругъ верхняго полюса магнита.

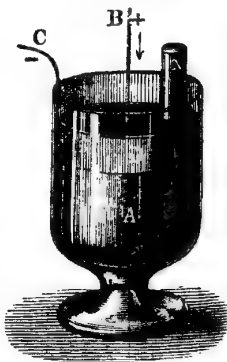
Вращеніе магнита около тока Фарадей осуществилъ слѣдующимъ образомъ: „Обременивъ, говоритъ онъ, платиновымъ грузомъ одинъ изъ концовъ маленькаго магнита, такъ чтобъ онъ могъ плавать въ ртути, имѣя другой конецъ поверхъ жидкости, — я сообщилъ ртути съ полюсомъ гальванической батареи и погрузилъ конецъ проволоки, идущей отъ другаго полюса, вертикально въ ртуть въ весьма близкомъ разстояніи отъ плавающего магнита. Верхній полюсъ магнита тотчасъ началъ вращаться около проволоки, тогда какъ нижній полюсъ, по своему удаленію, не могъ произвести противоположнаго дѣйствія“. Фиг. 539 представляетъ этотъ опытъ Фарадея.

Уже Вульстенъ считалъ возможнымъ обратить замѣченное Эрстедомъ отклоненіе стрѣлки въ непрерывное вращеніе ея около проводника, искалъ достигнуть этого на опытѣ и въ началѣ 1821 года пытался осуществить свою идею въ присутствіи сэръ-Гумфри Деви въ лабораторіи Королевскаго Института. Это и привлекло вниманіе къ предмету Фарадея бывшаго препараторомъ Деви.

§ 379. Опытъ съ колесомъ Барлова. Вращательный снарядъ Марша. „Когда я повторялъ, пишетъ (1822) англійскій ученый Барловъ (Barlow), опыты Фарадея съ вращеніемъ (тока около магнита въ той формѣ какъ изображено на фиг. 537) одинъ молодой человекъ (Маршъ) который мнѣ помогалъ, хотѣлъ попробовать дѣйствіе подковообразнаго магнита на проводящую проволоку снаряда, висѣвшую свободно сверху, погружаясь нижнимъ концомъ въ ртуть. Проволока тотчасъ пришла въ быстрое колебаніе: она совсѣмъ выходила изъ ртути, потомъ, когда такимъ образомъ прікосновеніе было прервано, падала по собственной тяжести и т. д., пока продолжалось дѣйствіе тока“. Это наблюденіе

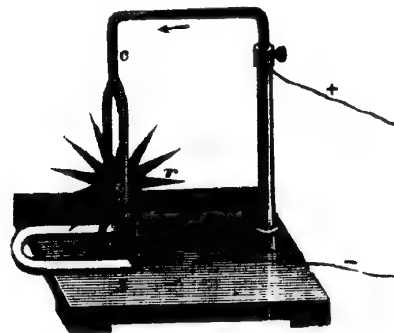


Фиг. 538.



Фиг. 539.

повело Барлова къ устройству снаряда называемаго колесомъ Барлова и изображеннаго на фиг. 540. Токъ проходитъ чрезъ



Фиг. 540.

металлическую подставку и иѣдное колесо съ зубцами и чрезъ него въ ртуть или воду съ кислотою наливаемыми въ узкій сосудъ, соединенный съ батареей и помѣщенный между полюсами подковообразнаго магнита. Зубецъ колеса погруженный въ ртуть представляетъ собою вертикальную вѣтвь тока, помѣщенную между полюсами магнита. Согласно дѣйствіемъ полюсовъ, вѣтвь эта выталкивается изъ вертикальной плоскости проходящей чрезъ полюсы магнита и замѣшается, при происшедшемъ движеніи колеса, слѣдующимъ зубцемъ и т. д. Колесо приходитъ во вращеніе съ такою быстротою что глазъ не можетъ слѣдить за его движеніемъ“.

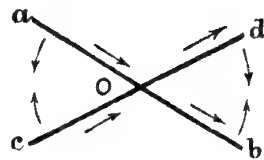
Опытъ Барлова есть прямое подтвержденіе упомянутого въ предыдущемъ параграфѣ общаго начала, къ какому сводится объясненіе всѣхъ опытовъ съ вращеніемъ токовъ около магнитовъ и магнитовъ около токовъ; а именно что взаимное дѣйствіе магнитной частицы или магнитнаго полюса и малаго элемента тока направлено перпендикулярно къ плоскости проведенной чрезъ эти элементъ и частицу: магнитная частица стремится выдвинуть элементъ изъ этой плоскости и, наоборотъ элементъ тока стремится выдвинуть частицу, въ противоположную сторону.

Маршъ (Marsh), тотъ молодой мастеръ о которомъ упоминаетъ Барловъ устроилъ (1822) весьма остроумный снарядъ для показанія вращенія токовъ около полюса магнита. Сна-

рядъ изображенъ на фиг. 541. Легкій мѣдный сосудъ цилиндрической формы съ двойными стѣнками вѣшается помощью острія и тонкой мѣдной дуги, какъ ведро помощью ручки, на концѣ магнита проходящаго чрезъ его пустую средину. Цинковый цилиндръ, держащійся помощью острія опирающагося на дно маленькой чашечки вверху дуги мѣднаго сосуда, погруженъ въ кислую воду налитую въ мѣдный сосудъ. Такимъ образомъ составляется гальваническій элементъ, мѣдная и цинковая части котораго могутъ, независимо одна отъ другой, вращаться вокругъ полюса магнита. Такое вращеніе действительно и замѣчается въслѣдствіе взаимодѣйствія полюса и вѣтвей тока направляющагося отъ мѣди вверху къ острію держащему цинковый цилиндръ и нисходящему оттуда, чрезъ вѣтви дуги несущей цинкъ, къ атому послѣднему металлу. Сообразно направленію тока, мѣдный сосудъ и цинковый цилиндръ пріобрѣтаютъ противоположное движеніе и вращаются одна въ одну, другой въ другую сторону. Сосудъ, какъ болѣе тяжелое тѣло, вращается нѣсколько медленнѣе.



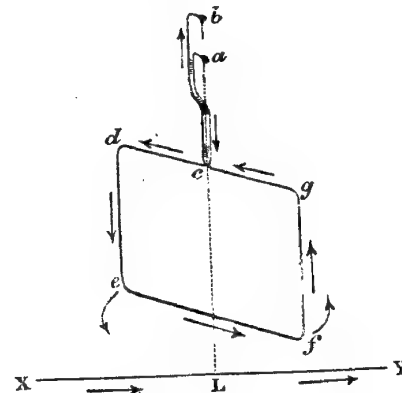
Фиг. 541.



Фиг. 542.

§ 380. Вращеніе тока отъ дѣйствія другого тока. Амперъ показалъ что можно произвести вращеніе вѣтви тока, безъ магнита, дѣйствіемъ другого тока. Возможность такого явленія можно вывести какъ слѣдствіе изъ доказаннаго Амперомъ общаго закона дѣйствія двухъ прямолинейныхъ проводниковъ помѣщенныхъ подъ угломъ одинъ относительно другаго. Вѣтви въ которыхъ токи идутъ приближаясь къ вершинѣ угла или удаляясь отъ его вершины притягиваются между собою. Вѣтви въ одной изъ которыхъ токъ приближается къ вершинѣ угла, въ другой удаляется отъ нея отталкиваются взаимно. Такимъ

образомъ въ случаѣ изображенномъ на фиг. 542 вѣтви oa и oc , ob и od притягиваются, oa и od , oc и ob отталкиваются взаимно. Говоря объ углѣ образуемомъ токами, мы разумѣемъ не только тотъ случай когда токи находятся въ одной плоскости, но и тотъ когда они въ разныхъ плоскостяхъ. Только въ послѣднемъ случаѣ должно относить направленіе токовъ, вмѣсто вершины угла пересѣченія, къ линіи служащей кратчайшимъ разстояніемъ между токами. Фиг. 543 изображаетъ опытъ, по-

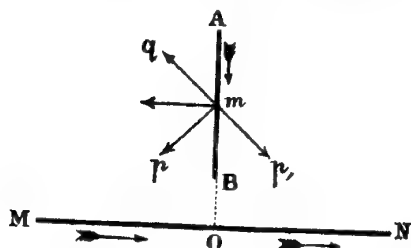


Фиг. 543.

мощію котораго можно оправдать законъ взаимнаго дѣйствія токовъ подъ угломъ. Подвижной токъ ef отъ дѣйствія неподвижнаго XU повернется какъ показано стрѣлками. Движеніе будетъ продолжаться пока проволока установится, имѣя токи направленными въ одну сторону.

Представимъ себѣ теперь что мы имѣемъ (фиг. 544) токъ неопредѣленной длины MN , горизонтально идущій по направленію отъ M къ N , и вѣтвь AB , въ которой, допустимъ, токъ идетъ сверху внизъ, отъ A къ B . Какое будетъ ихъ взаимное дѣйствіе? Часть OM горизонтальнаго тока притягиваетъ вѣтвь AB . Изобразимъ величину и направленіе этого притяженія нѣкоторою линіею tr . Часть ON оказываетъ противоположное дѣйствіе: отталкиваетъ вѣтвь AB . Если бы токъ шелъ въ противоположномъ направленіи, то часть ON притягивала бы вѣтвь AB , и тогда направленіе притяженія изобразилось бы линіею tr , (образующею уголъ $Otr = Otr$), ибо правая часть ON во всемъ сходна съ лѣвой OM . Отталкивательное дѣйствіе должно проходить по той же линіи, но въ противоположномъ направленіи; слѣдовательно его должно изобразить линіею $tq = tr$. Соединяя сіи tr и tq не трудно видѣть что совокупное ихъ дѣйствіе стре-

мется подвинуть вѣтвь влѣво то есть *противъ теченія* тока въ *MN*. Если точка *A* укреплена такъ что вѣтвь *AB* можетъ вра-



Фиг. 544.

щаться около нея какъ около центра, сила гонящая эту вѣтвь влѣво приведетъ ее во вращеніе.

Если бы, вмѣсто прямолинейнаго тока *MN*, мы взяли круговой огибающій точку *A* какъ центръ, то при всякомъ положеніи вѣтви *AB*, вѣтвь эта была бы перпендикулярна къ круговому току, и онъ дѣйствовалъ бы на нее какъ *MN* дѣйствуетъ на *AB* въ положеніи представленномъ на чертежѣ, то есть гоня эту вѣтвь постоянно въ одну сторону и слѣдов. сообщая ей непрерывное вращательное движеніе.

Всѣ эти вращенія, если бы не было никакихъ препятствій движенію, происходили бы съ постоянно возрастающею скоростью. Вслѣдствіе тренія, сопротивленія жидкихъ частей и пр., возрастаніе скорости продолжается недолго, и движеніе скоро дѣлается равномернымъ.

Одна изъ формъ снаряда, помощію каковаго Амперъ осуществилъ на опытѣ указанный случай вращенія подвижной вѣтви тока отъ дѣйствія другаго тока, изображена на фиг. 545. Токъ отъ одного изъ полюсовъ батареи проходитъ въ столбикъ и чашечку несущія подвижную вѣтвь (удерживаемую помощію противовѣса *p* въ горизонтальномъ положеніи); идетъ dalje по этой



Фиг. 545.

вѣтви въ ртуть (или воду) соединенную съ другимъ полюсомъ батареи и налитую въ желобъ обмотанный проволокою. Черезъ эту проволоку проходитъ токъ отъ другой батареи или отъ той же самой, если проволока введена въ общую цѣпь съ остальными частями снаряда.

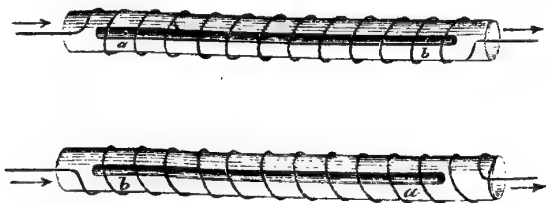
§ 381. Намагниченіе дѣйствіемъ тока открытое Араго. Въ сентябрѣ 1820 года Араго *) сообщилъ Парижской Академіи сдѣланное имъ новое важное открытіе въ области электро-магнетизма. „Проведя говоритъ онъ, отъ одного изъ полюсовъ вольтова столба довольно тонкую цилиндрическую мѣдную проволоку, я замѣтилъ что когда эта проволока была въ сообщеніи съ другимъ полюсомъ (слѣд. въ ней проходилъ токъ), она *притягивала желѣзныя опилки*, какъ еслибы была настоящимъ магнитомъ. Когда она погружалась въ опилки, онъ приставали къ ней равномерно вокругъ, такъ что она чрезъ это прибавленіе получала діаметръ почти равный діаметру ствола обыкновеннаго пера. Какъ скоро проволока переставала быть въ сообщеніи разрывъ съ обоими полюсами столба (т.-е. токъ не проходилъ въ нее болѣе), опилки отставали и падали **)... Я говорилъ о соединительной проволоки изъ мѣди; проволоки изъ серебра, платины и т. д. дали тѣ же результаты... Соединительная проволока мягкому же-

*) Араго, знаменитый французскій физикъ и астрономъ, родился въ 1786 году въ департаментѣ Восточныхъ Пиренеевъ; учился въ Парижской Политехнической школѣ, по выходѣ изъ которой былъ прикомандированъ къ обсерваторіи. Вмѣстѣ съ Бю въ 1806 году занимался измѣреніемъ дуги меридіана въ Испаніи. Застигнутый войною вернулся во Францію только послѣ многихъ приключеній и опасностей, когда его считали уже погибшимъ. Въ 1809, двадцати трехъ лѣтъ отъ роду, Араго былъ избранъ въ члены Парижской Академіи, занявъ кресло Лаланда; въ 1830 году онъ замѣстилъ Фурье въ должности секретаря Академіи. Славился какъ великій популяризаторъ и профессоръ. Какъ членъ палаты депутатовъ принималъ живое участіе въ политическихъ событіяхъ, принадлежа къ республиканской партіи, и въ 1848 году былъ членомъ временнаго правительства. Скончался въ 1853 году.

**) Тотъ же опытъ, немного спустя послѣ Араго и независимо отъ него, былъ произведенъ Деви, изслѣдовавшимъ кромѣ того намагниченіе иглы, помѣщенной перпендикулярно проводу, чрезъ который проходитъ разрядъ лейденской банки или батареи.

лѣзу сообщаетъ лишь временное намагниченіе; но если взять маленькіе кусочки стали, то ихъ можно намагнитить постояннымъ образомъ. Мнѣ удалось даже такимъ образомъ вполне намагнитить швейную иглу.“ Когда Араго показалъ свои опыты Амперу, то „теоретическіе взгляды Ампера тотчасъ дали ему мысль что можно получить болѣе сильное намагниченіе если вмѣсто прямой проволоки взять проволоку согнутую улиткообразно и по оси ея помѣстить стальную иглу. Опытъ удался вполне, и положеніе полюсовъ было вполне согласно съ теоріею Ампера.“

Такимъ образомъ если токъ въ оборотахъ проволоки намотанной на стеклянную трубку, внутри которой находится намагничиваемая полоса, идетъ слѣва направо (по стрѣлкѣ часовъ) относительно наблюдателя держащаго трубку (фиг. 546) отверстіемъ предъ собою, то въ ближайшемъ концѣ намагничиваемой полосы оказывается южный полюсъ; сѣверный—въ случаѣ если токъ идетъ противъ стрѣлки часовъ. Такъ, намагничиваемая полоса въ верхней трубкѣ (фиг. 546) пріобрѣтаетъ въ правомъ концѣ южный, въ лѣвомъ сѣверный полюсъ; въ нижней наоборотъ.

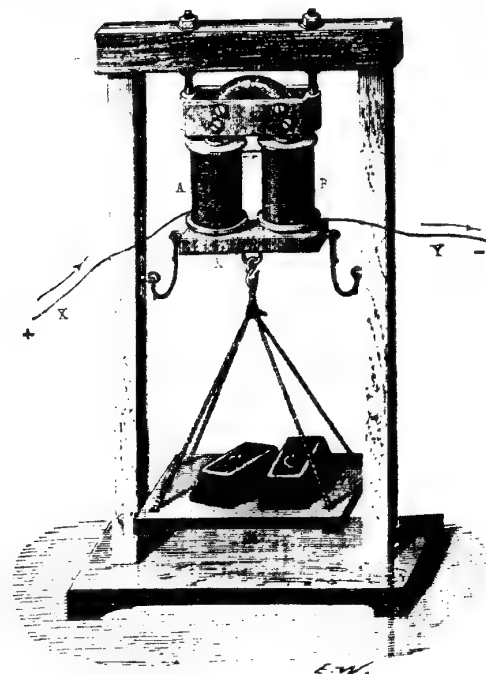


Фиг. 546.

Если, вмѣсто стальной полосы, возьмемъ полосу магнаго желѣза, и обмотаемъ ее изолированную проволокой, то получимъ снарядъ именуемый *электро-магнитомъ*. Обыкновенно желѣзу даютъ подковооб-

разною форму (фиг. 547) и обматываютъ изолированную проволокой его концы, дѣлая обороты при одномъ изъ нихъ по направленію стрѣлки часовъ, при другомъ наоборотъ, относительно наблюдателя воображаемаго предъ этими концами. Когда токъ проходитъ чрезъ проволоку, желѣзо становится сильнымъ магнитомъ; оно утрачиваетъ магнетизмъ какъ только токъ прерванъ. Магниты такого рода могутъ быть доведены до чрезвычайной силы и въ состояніи держать грузъ болѣе 1000 килограммовъ.

Первые электро-магниты изъ мягкаго желѣза обмотаннаго проволокою были сдѣланы Стюрджономъ (Sturgeon) въ Англіи около 1825 года. Электромагниты первоначальной конструкции были слабы и держали не болѣе 10 фунтовъ. Первые сильные электромагниты были сдѣланы профессоромъ Молемъ въ

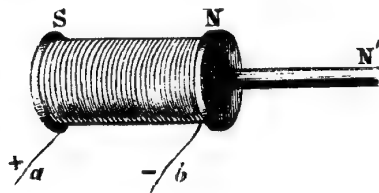


Фиг. 547.

Утрехтъ въ 1828 году и могли держать до 80 фунтовъ. Магнитъ устроенный Маршемъ (1830) для Королевскаго Института въ Лондонѣ держалъ, при достаточно сильномъ токъ, уже болѣе 500 фунтовъ. Затѣмъ испанскіе магниты устроивались въ тридцатыхъ годахъ въ Америкѣ (Henry и Ten Eyck); они держали до 2600 фунтовъ.

Желѣзо электромагнита, по прекращеніи тока, еще удерживаетъ нѣкоторую степень намагниченія, если якорь оставленъ при концахъ (остаточный магнетизмъ). Чтобы оторвать его, требуется болѣе или мѣнѣе значительное усиліе. Разъ оторванный, онъ не притягивается болѣе.

Если въ каналъ сдѣланный по оси катушки, на которой намотана проволока (фиг. 548, ввести часть полосы мягкаго желѣза и соединить концы проволоки съ полюсами батареи, то какъ только замкнется токъ, — желѣзо будетъ съ большою



Фиг. 548.

силою притянута внутрь катушки. Явленіе объясняется намагниченіемъ желѣза, причемъ токи обнаруживающіеся, въ слѣдствіе намагниченія, имѣютъ въ желѣзѣ одинакое направленіе съ токомъ многими оборотами огибающимъ катушку, и слѣдовательно между ними обнаруживается притяженіе. Другими гими словами, катушка возбуждаетъ въ ближайшемъ къ ней концѣ желѣза полюсъ противоположный съ ея магнитнымъ полюсомъ N , въ отдаленномъ концѣ N' желѣза — полюсъ противоположный съ N .

§ 382. Явленія діамagnetизма открыты Фарадеемъ. Пользуясь сильнымъ электромагнитомъ, Фарадей сдѣлалъ въ 1845 году замѣчательное открытіе. *) Онъ по-

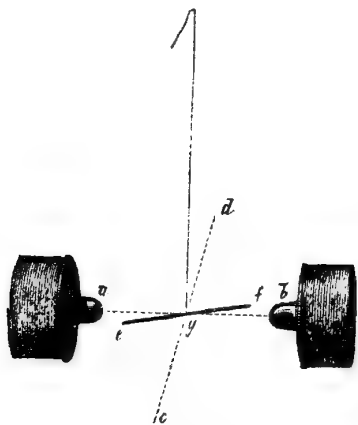
*) Открытіе діамagnetизма сопровождало сдѣланное Фарадеемъ въ 1845 году открытіе связи явленій магнетизма и свѣта. «Давно уже, говоритъ онъ, я, вмѣстѣ съ нѣкоторыми другими друзьями науки, держался мнѣнія, почти обратившагося въ

казалъ что сильный магнитъ дѣйствуетъ на всѣ тѣла природы, но двоякимъ образомъ: притягивая одни, отталкивая другія.

убѣжденіе, что различныя формы, подѣ какими являются намъ силы природы, имѣютъ общее происхожденіе. Я думаю, другими словами, что силы эти имѣютъ прямые соотношенія между собой, что онѣ могутъ въ нѣкоторомъ смыслѣ превращаться одна въ другую и въ своемъ дѣйствіи представляютъ эквивалентныя отношенія. Въ послѣднее время накопилось очень много доказательствъ такой преобразуемости силъ, и начали опереждать ихъ эквиваленты. Это убѣжденіе Фарадей распро- странялъ и на силу свѣта и сдѣлалъ не мало попытокъ открыть прямое соотношеніе между свѣтомъ и электричествомъ. Результаты получились отрицательные; но онѣ не могли, прибавляетъ Фарадей, разрушить убѣжденія, основаннаго на философскихъ соображеніяхъ. После сотни опытовъ передѣланныхъ съ различными тѣлами, Фарадей сдѣлалъ опытъ съ такъ называемымъ тяжелымъ флинтъ, стекломъ въ составъ котораго входитъ борнокислый свинецъ и которое Фарадей приготовилъ около 1830 года, когда занимался вопросомъ объ усовершенствованіи матеріала для оптическихъ стеколъ. Это стекло дало замѣчательные результаты. Оказалось что подѣ вліяніемъ сильнаго магнита оно приобретаетъ такія свойства какія имѣетъ кварцъ въ природѣ (способность поворачивать плоскость поляризаціи проходящаго луча свѣта). Магнитныя силы способны, слѣдовательно, измѣнять оптическія свойства тѣлъ.

Нѣтъ сомнѣнія, рассуждалъ далѣе Фарадей, что магнитныя силы дѣйствуютъ на внутреннее строеніе діамagnetныхъ тѣлъ (такъ наименовалъ Фарадей тѣла не подверженныя дѣйствію магнита въ обыкновенномъ смыслѣ: чрезъ которые магнитъ дѣйствуетъ какъ чрезъ пустоту) и производятъ въ нихъ измѣненія одинаково свободно въ темнотѣ и при прохожденіи луча свѣта, хотя явленія производимыя свѣтомъ доселѣ, повидимому, единственное средство наблюдать это строеніе и эти измѣненія. Далѣе, эти измѣненія должны происходить точно также въ непрозрачныхъ тѣлахъ, каковы: дерево, камень, металлъ, какъ и въ прозрачныхъ, ибо качества діамagnetныхъ непрозрачныхъ тѣлъ не должны разниться отъ прозрачныхъ. Какое же измѣненіе претерпѣваютъ немагнитныя тѣла подѣ вліяніемъ магнита? Чтобы найти слѣдъ такого измѣненія, Фарадей дѣлалъ много опытовъ. Онъ помѣщалъ значительныя массы тяжелаго стекла между магнитомъ и магнитною стрѣлкой и не нашелъ никакой разницы въ дѣйствіи сравнительно съ тѣмъ случаемъ, когда между магнитомъ и стрѣлкой былъ воздухъ, хотя употреблялъ самые чувствительные приемы наблюденія. Онъ помѣщалъ, далѣе, близъ магнита, воду, спиртъ, ртуть и другія жидкости въ большихъ сосудахъ, ока-

Между полюсами очень сильного электромагнита онъ повѣсилъ (фиг. 549) палочку тяжелаго стекла



Фиг. 549.

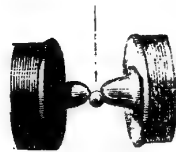
(Флинтъ Фарадей), дюйма въ два длиной, такъ что она свободно могла обращаться въ горизонтальной

чивавшихся термометрическими трубками, но не могъ открыть никакой разницы въ объемѣ жидкостей „при прохожденіи чрезъ нихъ магнитныхъ кривыхъ.“ „Еслибы, замѣчаетъ онъ о діаманитныхъ тѣлахъ, магнитныя силы обращали эти тѣла въ магниты, то мы могли бы помощію свѣта изучить провратный магнитъ, и это было бы важное пособие при изученіи силъ матеріи. Но, какъ видимъ, тѣла эти не дѣлаются магнитами, и слѣдовательно ихъ состояніе должно специфически отличаться отъ состоянія намагниченнаго желѣза и подобныхъ ему тѣлъ: оно должно представлять *новое магнитное состояніе*“.

Не останавливаясь предъ неудачами, Фарадей не терялъ надежды обнаружить это *новое состояніе*, и наконецъ дѣйствительно открылъ его неожиданныя свойства и цѣлую новую область явленій, за которую утвердилъ имя *діаманетизма*. Онъ обязанъ удачей отчасти тому, что употреблялъ въ дѣло очень сильныя электромагниты. Настойчиво преслѣдуя возникшую мысль, Фарадей обыкновенно не оставлялъ испытанія, пока не употребить въ дѣло всю возможную силу снарядовъ. Такъ поступилъ онъ и въ этомъ случаѣ и замѣтилъ новое, неожиданное явленіе: *отталкивающее* дѣйствіе магнита на діаманетныя тѣла.

плоскости *). Пока токъ не былъ замкнутъ, она устранилась въ случайномъ направленіи, въ зависимости отъ крученія нити. Но какъ скоро токъ былъ замкнутъ, и снарядъ получилъ магнитную силу, палочка немедленно пришла въ движеніе и перемѣстилась въ положеніе на крестъ съ осью, то-есть линіею соединяющей полюсы. Такое положеніе палочки (означенное на чертежѣ буквами *cd*) перпендикулярное къ *осевому* (означенному буквами *ab*) Фарадей наименовалъ *экваторіальнымъ* положеніемъ. Еслибы палочка была изъ вещества, притягиваемаго магнитомъ, она помѣстилась бы своею длиною въ осевомъ направленіи, отъ полюса въ полюсу. Тяжелое стекло не протягивается, слѣдовательно, магнитомъ. Повѣсивъ, даѣе, палочку такъ, что центръ ея былъ ближе къ одному полюсу чѣмъ къ другому, Фарадей, замкнувъ токъ, нашелъ, что она, какъ и въ первомъ опытѣ, пришла въ движеніе — помѣстилась экваторіально, — но вмѣстѣ съ тѣмъ онъ замѣтилъ, что центръ ея *удалился* нѣсколько отъ ближайшаго полюса: тяжелое стекло, слѣдовательно, *отталкивается* магнитомъ. Фарадей разнообразилъ опыты, изучалъ различныя тѣла, нашелъ, что *висмутъ* обнаруживаетъ діаманетное отталкиваніе еще въ значитель-

нѣйшей степени чѣмъ тяжелое стекло **). Такъ висмутовый шарикъ (фиг. 550) повѣшенный у полюсовъ сильнаго электромагнита и слегка касающійся ихъ пока токъ не замкнутъ, явленно ими и устанавливается на нѣкоторомъ разстояніи; *отталкивается* какъ скоро токъ замкнутъ. Вообще, какъ уже упомянуто, Фарадей пришелъ къ за-



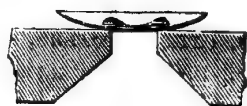
Фиг. 550.

*) Самый электромагнитъ (по системѣ Рункорфа) могущій служить для повторенія діаманетныхъ опытовъ изображенъ ниже на стр. 673 фиг. 553.

**) Отталкиваніе висмута, какъ единичный фактъ не обраща-

ключенію, что всѣ тѣла природы раздѣляются на два разряда: одни *магнитныя*, какъ желѣзо, притягиваются магнитомъ, другія *діамагнитныя*—и это большинство тѣлъ природы, — имъ отталкиваются.

Къ тѣламъ магнитнымъ кромѣ желѣза, никкеля и кобальта принадлежатъ платина, палладій, осмій и нѣкоторые другія. Остальные металлы діамагнитны, въ особенности висмутъ, сурьма, цинкъ, олово. Сѣра, фосфоръ, уголь, дерево, вообще органическія вещества также діамагнитны. „Любопытно, говоритъ Фаридей, проглядѣть списокъ тѣлъ, обладающихъ этимъ замѣчательнымъ свойствомъ, и странно встрѣтить кусокъ дерева, мяса, яблоко въ числѣ тѣлъ повинующихся магниту и имъ отталкиваемыхъ. Еслибы можно было между полюсами магнита помѣстить съ достаточною тщательностію человѣка въ висящемъ положеніи, по способу Дюфе, то человѣкъ этотъ принялъ бы экваторіальное положеніе, ибо всѣ вещества, его соста-



вляющія, включая кровь, обладаютъ этимъ свойствомъ.“



Фиг. 551.



Е. М.

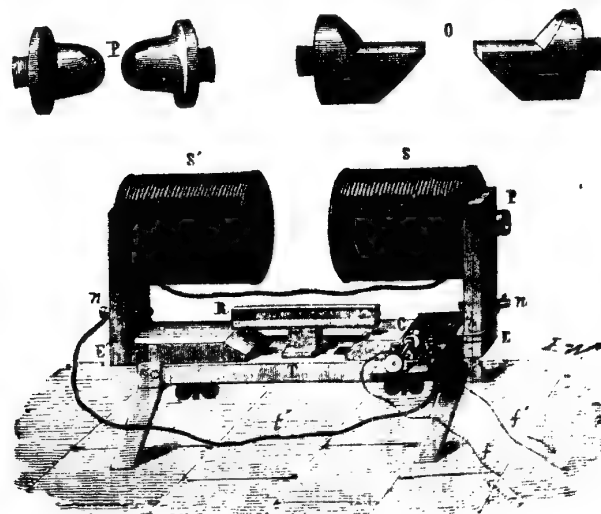


Фиг. 552.

Чтобы изучать магнитныя свойства жидкостей, ихъ помѣщаютъ тонкимъ слоемъ на часовомъ стеклѣ, ко- шій на себя особаго вниманія, было извѣстно еще до Фарадея. Голландскій ученый Бругманъ (1778) замѣтилъ что большою кусокъ висмута (также сурьмы) отталкиваетъ оба полюса стрѣлки.

торое ставится на плоскую оправу полюсовъ. Если жидкость магнитна, то при полюсахъ образуются холмообразныя возвышенія (фиг. 550). Въ случаѣ діамагнитной жидкости при полюсахъ образуются углубленія (фиг. 551). Дѣйствіе на газы первый замѣтилъ итальянскій ученый Банкалари, показавшій что пламя свѣчи (фиг. 552) отталкивается полюсами магнита. Фарадей нашелъ что кислородъ есть тѣло замѣтно магнитное, занимающее между газами мѣсто подобное тому какое желѣзо занимаетъ между твердыми тѣлами. Другіе газы, въ особенности водородъ, діамагнитны.

Фиг. 553 изображаетъ сильный электромагнитъ въ той формѣ какая дана ему Рункорфомъ (извѣстнымъ



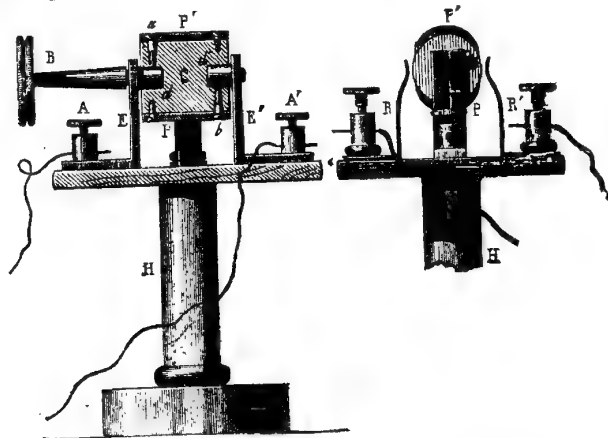
Фиг. 553.

строителемъ физическихъ инструментовъ въ Парижѣ) съ цѣлью повторенія опытовъ Фарадея надъ діамагнитными тѣлами и надъ помѣщеніемъ оптическихъ

свойствъ прозрачныхъ тѣлъ подѣ влияніемъ магнетизма. Два желѣзныхъ цилиндра много разъ обмотанные изолированной мѣдной проволокой образуютъ катушки или *бобины* S и S' горизонтально расположенныя на желѣзномъ станкѣ служащемъ оправою магнита. Для діамантитныхъ опытовъ свободные концы бобинъ снабжаются желѣзными кусками играющими роль полюсовъ (они изображены отдѣльно въ верху фиг. 553). Имъ дается различная форма, смотря по цѣлямъ опыта (они плоскіе, напримѣръ, для изслѣдованія магнетизма жидкихъ тѣлъ). Для оптическихъ опытовъ эти куски снимаются, и лучъ свѣта пропускается вдоль всего снаряда чрезъ каналъ, сдѣланный по оси желѣзныхъ цилиндровъ составляющихъ магнитное ядро бобинъ. Прозрачное тѣло ставится въ пространствѣ между полюсами; наблюдатель помѣщается при концѣ противоположномъ съ тѣмъ откуда идетъ свѣтъ.

Токъ можетъ быть замкнуть, прервать, измѣнить въ направленіи помощью весьма простаго *коммутатора* (C на фиг. 553) употребляемаго во многихъ снарядѣхъ и который не бесполезно изобразить отдѣльно. Онъ состоитъ изъ непроводящаго цилиндра C (фиг. 554) поддерживаемаго металлическими столбиками E и E' и обращающагося на оси. На цилиндрѣ наложены металлическія бляхи P и P' изолированныя одна отъ другой и прикрѣпленныя къ цилиндру каждая двумя винтами, однимъ длиннымъ, другимъ короткимъ. Длинный винтъ a бляхи P' касается металлической цапфы d , длинный винтъ b бляхи P — цапфы d' . Клемма A сообщающаяся, чрезъ столбикъ E , цапфу d и длинный винтъ a съ бляхою P' соединена съ однимъ полюсомъ батареи, напримѣръ, съ положительнымъ; клемма A' сообщающаяся съ бляхою P соединена съ другимъ полюсомъ батареи. Повернувъ цилиндръ помощью рукоятки B , можно бляхи P и P' привести въ прикосновеніе съ пружинами R и R' , сообщающимися помощью другой пары клеммъ, изображенныхъ на фиг. 555, съ снарядомъ, въ который пропускается токъ (на фиг. 555 цилиндръ изображенъ въ положеніи когда бляхи не касаются пружинъ, и токъ разомкнутъ). Если цилиндръ повернуть такъ что бляха P' касается пружины R , то токъ, пройдя чрезъ клемму A , столбикъ E , цапфу d , длинный винтъ a и бляху P' , вступитъ въ пружину R , изъ нея въ снарядъ; изъ снаряда — въ клемму пружины R' касающейся бляхи P ; изъ бляхи P , чрезъ длинный винтъ b , столбикъ

E и клемму A' — къ отрицательному полюсу батареи. Если пружины R , касается бляха P , то направленіе тока въ снарядѣ будетъ противоположное съ первымъ случаемъ: токъ проникнетъ въ снарядъ чрезъ бляху P' и пружину R' , а вернется чрезъ пружину R и бляху P .



Фиг. 554.

Фиг. 555.

Удовлетворительнаго объясненія явленій діамантитизма еще нѣтъ. Многіе держатся слѣдующей теоріи выраженной Жаменомъ (авторомъ извѣстнаго курса физики) въ такой формѣ:

«Извѣстно, что если поднести кусокъ желѣза къ полюсу магнита, то на концѣ этого куска обнаруживается магнитный полюсъ противоположный съ полюсомъ магнита и имъ притягиваемый. Діамантитизмъ происходитъ отъ противоположнаго дѣйствія: образуется не противоположный, а одноименный полюсъ. Вотъ почему діамантитное тѣло отталкивается. Это доказываютъ, помѣщая полосу висмута въ спираль пробѣгаемую токомъ и приближая магнитную стрѣлку. Убѣждаются что полоса висмута получила магнетизмъ противоположный съ тѣмъ какой приобрѣло бы желѣзо въ тѣхъ же условіяхъ. Эти факты кажутся въ противорѣчій съ теоріею Ампера, которая такими образомъ потеряла бы свою общность. Мы покажемъ что это противорѣчіе не такъ радикально какъ кажется. Дѣйствительно, Фарадей показалъ что природа окружающей среды можетъ совершенно измѣнить свойства тѣла. Такъ, трубка содержащая растворъ сѣрнокислаго желѣза оказывается въ воздухѣ магнитною; она еще болѣе магнитна въ водѣ или спиртѣ, но она становится діамантитною въ растворѣ сѣрнокислаго желѣза болѣе концентрированнымъ чѣмъ содержащий ея. Это объясняется принципомъ Архимеда. Помѣстимъ въ сосѣдствѣ магнита со-

судь наполненной жидкостью: она не испытывает никакого движения. Но отделим мысленно некоторую массу внутри ее: на массу эту действует полюсь с силою f , положительною или отрицательною, смотря по тому магнитна эта масса или диамагнитна; а так как она не перемещается, то необходимо чтобы среда ее окружающая оказывала на нее давление — f равное и противоположное f . Заменим теперь эту отделенную нами массу другою ограничекою тою же поверхностью, но других свойств. Она будет испытывать со стороны магнита иное действие f' , положительное или отрицательное, а со стороны жидкости то же давление — f . Их равнодействующая будет $f' - f$. Следовательно действие полюса магнита на тело погруженное в жидкую среду равно разности действий каких он оказывает отдельно на тело и на вытесняемую этим телом жидкость. Когда среда магнитна, f положительно, и $f' - f$ стремится быть отрицательным; тело следовательно стремится стать диамагнитным. Наоборот, в диамагнитной среде, f отрицательно; тело стремится стать магнитным. Но все тела природы погружены в эфир, и эта среда, передающая свет и притяжение, имѣющая массу, очень может быть магнитною. Вообще мы должны или допустить что закон Ампера имѣет лишь очень частное значение и не объяснять диамагнетизма, или допустить общность этого закона и приписать эфиру магнитное свойство: возможность диамагнетизма тогда предвидится. Эд. Беккерель допустил, и полагаю основательно, это последнее рѣшеніе.*

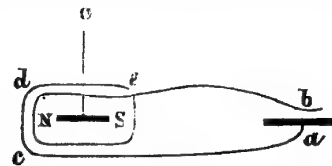
V. Термо-электрическія явленія.

§ 383. Изучая в 1821 году магнитныя действия гальванических цѣпей изъ разныхъ металловъ и жидкостей, „я наткнулся, говоритъ Зебекъ *), на явленія, свидѣтельствующія, казалось мнѣ, что два металла соединенные в гальванической кругъ могутъ одни, безъ всякаго содѣйствія мокраго проводника, произвести токъ“ **).

*) Зебекъ (Seebeck), сынъ богатаго ревальскаго купца родился в 1770 году; первоначально учился в мѣстной гимназій, а съ 17-лѣтняго возраста, по смерти отца, переселился в Германію. В Берлинѣ занимался медициною, но скоро оставилъ ее и предался физическимъ, изслѣдованіямъ живя частнымъ чело-вѣкомъ. В 1802 году поселился в Лейп, былъ близокъ съ Гете. Съ 1818 членъ Берлинской Академіи наукъ. Умеръ в 1831 году отъ болѣзни сердца, на 62 году отъ рожденія.

**) „Сдѣлаться магнитными“ какъ собственно выражается Зебекъ, наименовавшій открытыя имъ явленія термо-магнетизмомъ,

Чтобы осуществить свою мысль, Зебекъ избралъ для первыхъ опытовъ, мѣдь, которую связывалъ съ висмутомъ или сурьмою. Первоначально ему не приходило еще на мысль произвести „неравенство въ состояніи пунктовъ прикосновенія“, — помощію нагрѣванія одного изъ этихъ пунктовъ. Онъ просто положилъ (фиг. 556) на конецъ a мѣдной лентообразной прово-

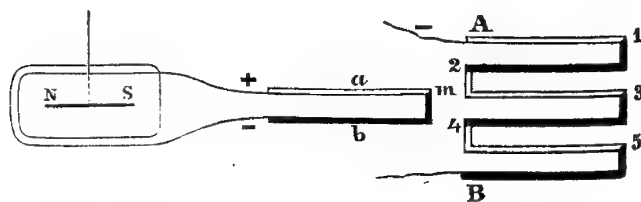


Фиг. 556.

локи, — обогнутой много разъ вокругъ магнитной стрѣлки и представлявшей родъ гальванометра, — висмутовый кружокъ, въ которому и прижималъ рукою второй конецъ b мѣдной проволоки. Тотчасъ обнаружилось отклоненіе стрѣлки. Кружокъ сурьмы, положенной вмѣсто висмутоваго, далъ отклоненіе въ противоположную сторону. Цинковый кружокъ отклоненія не далъ. В первое время Зебекъ думалъ, не происходитъ ли явленіе отъ влаги руки, помощію которой конецъ мѣдной проволоки прижимался къ

такъ какъ признавалъ ихъ магнитными, а не электрическими. Зебекъ не говоритъ какихъ собственно явленія навели его на мысль о возможности гальванической цѣпи изъ однихъ металловъ, намекаетъ только мимоходомъ, что „висмутъ и сурьма, соединенные съ мѣдью въ обыкновенную гальваническую цѣпь, оказались въ некоторыхъ кускахъ отступающими отъ нормы и перемѣнчивыми“, и приводитъ слѣдующее руководившее имъ соображеніе. В цѣпи изъ двухъ металловъ и жидкости три прикосновенія разнородныхъ тѣлъ: прикосновеніе металловъ между собою и два прикосновенія жидкости съ погруженными металлами. „Преобладающее дѣйствіе въ одномъ какомъ-либо изъ этихъ пунктовъ надъ дѣйствіями въ двухъ другихъ способно причинить магнитное напряженіе цѣпи (токъ), а это, полагаю я, позволяетъ ожидать, что при всякомъ неравенствѣ въ состояніи пунктовъ прикосновенія двухъ, въ кругъ между собою соединенныхъ металловъ можетъ обнаружиться магнитная полярность“.

кружку. Отсутствие отклонения в случае цинка опровергло это предположение, ибо если бы явление происходило от влаги руки, то в случае цинки из цинка и меди отклонение не только было бы заметно, но и имело бы сравнительно наибольшее напряжение. Зебек нашел далее, что можно прижимать конец проволоки не прямо рукой, а при посредстве небольшой металлической, даже сухой стеклянной палочки (в последнем случае явление, правда, обнаруживалось очень слабо). Тогда у него родилась мысль, не происходит ли явление от *тепла* прижимающей руки, сообщаемого верхнему месту прикосновения меди и висмута; не есть ли нагревание причина упомянутого „неравенства в состоянии пунктов прикосновения“ производящего ток? Дальнейшие опыты показали, что это предположение было верно, что два металла соединенные между собой в гальванический круг, могут дать ток, как скоро их места прикосновения находятся при разных температурах. Такая гальваническая цепь именуется *термо-электрической*, в отличие от *гидро-элек-*



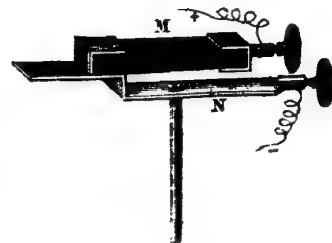
Фиг. 557.

трической, в состав которой входят жидкости. Палочка висмута *b* (фиг. 557) приведенная своим концем в тесное прикосновение с палочкою *a* сурьмы (через нажатие или даже через спайку, ибо, как увидим, слой спаивающего вещества не изменяет явления) представляет примырь *термо-элек-*

трического элемента. Если нагревать место прикосновения *m*, соединив свободные концы элемента с гальванометром, то обнаружится ток, направляющийся в элемент от сурьмы к висмуту и отклоняющий стрелку. Ток будет иметь противоположное направление, если охлаждать пункт *m*. Если вместо одного термо-электрического элемента возьмем их несколько и расположим места прикосновения на фиг. 558, так чтобы нечетные места прикосновения (или спай) были обращены в одну, четные в другую сторону, то получим цепь термо-электрическую батарею. Соединив концы ее с гальванометром и поддерживая нечетные места прикосновения при одной, четные при другой температур, получим весьма постоянный термо-электрический ток.

Если вместо того чтобы приводить непосредственно в прикосновение действующие металлы *A* и *B* и нагревать место где они касаются между собою, поместим между ними третий металл *C* и нагрем до той же температуры оба места прикосновения *C* с *A* и *B*, то явление не изменится и произойдет так как еслибы металлы *A* и *B* непосредственно касались один другого. Потому можно, — вместо того чтобы нажимать один на другой, — спаивать исследуемые металлы: слой спаивающего вещества не изменяет явления, и оно происходит как еслибы металлы были в непосредственном прикосновении между собою.

В новейшее время было не мало попыток устроить по возможности сильная термо-электрическая батареи, пользуясь термо-электрическими свойствами сурьмистой меди, нейзильбера и различных сплавов. Один из таких элементов (из сурьмистой меди и нейзильбера) изображен на фиг. 559. Это элемент Эдм. Беккереля. Упомянем также о батарее вьенского ученого Маркуса, положительный металл из 65, по вьсу, частей меди и 31 цинка; отрицательный из 12 частей сурьмы, 5 цинка или нейзильб.) а б в д



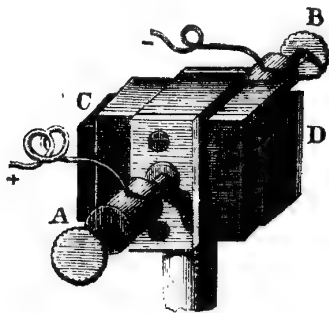
Фиг. 559.

Термо-электрический рядъ металловъ можно видѣть въ слѣдующей таблицѣ, гдѣ каждый предыдущій металлъ въ сочетаніи съ какимъ-либо изъ послѣдующихъ играетъ роль электро-отрицательнаго металла:

Висмутъ	свинецъ.
Нейзельбергъ	цинкъ.
Платина	серебро
Золото	желѣзо.
Мѣдь	сурьма.

Сила термоэлектрическаго тока зависитъ отъ разности температуръ, при какихъ находятся мѣста прикосновенія металловъ составляющихъ элементъ (отъ разности температуръ четныхъ и нечетныхъ спаевъ въ случаѣ батареи). Когда разность эта не очень значительна, то сила тока пропорціональна ей. При значительныхъ разностяхъ законъ пропорціональности не имѣетъ мѣста и бываютъ даже случаи обращенія тока (Кумингъ, 1823). Такъ, если припаять къ концамъ желѣзной проволоки по мѣдной проволоцѣ, соединить эти послѣднія съ гальванометромъ и, поддерживая одинъ спай при 0°, повышать постепенно температуру другаго, то въ началѣ напряженіе тока, идущаго чрезъ нагрѣтый спай отъ мѣди къ желѣзу, будетъ возрастать; при 140° токъ достигаетъ своего *maximum*, затѣмъ будетъ ослабѣвать и при 300° будетъ равняться нулю. При дальнѣйшемъ возвышеніи токъ вновь появляется, но въ противоположномъ направленіи: отъ желѣза къ мѣди чрезъ нагрѣтый спай. Подобныя явленія замѣчаются въ элементѣ изъ цинка и серебра, цинка и золота.

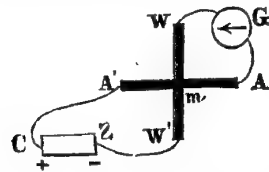
§ 384. Термо-электрический столбецъ. Нобили (1830) воспользовался термо-электрической батареею изъ маленькихъ элемен-



Фиг. 560.

товъ висмута и сурьмы для устройства снаряда способнаго служить чувствительнѣйшимъ термометромъ. Меллони измѣнили расположеніе снаряда такъ что онъ получилъ форму столбика, въ которомъ всѣ четные спаи составляющихъ его маленькихъ элементовъ висмута и сурьмы обращены въ одну, всѣ нечетные въ другую сторону. Снарядъ называется *термо-электрическимъ столбцомъ Меллони* (фиг. 560). Объ употребленіи его мы уже говорили въ ученіи о лучистой теплотѣ.

§ 385. Опытъ Пельтье *). Возьмемъ (фиг. 561) двѣ палочки висмута WW' и сурьмы AA' образующія крестъ, и прикасающіяся между собою въ точкѣ m . Соединимъ концы W' и A' на нѣкоторое время съ полюсами гальваническаго элемента такъ чтобы чрезъ вѣтви $W'm$ и mA' проходилъ несильный гальваническій токъ. Если, прервавъ затѣмъ соединеніе съ элемен-



Фиг. 561.

томъ, приведемъ концы A и W въ сообщеніе съ гальванометромъ G , то стрѣлка гальванометра отклонится, показывая что въ мѣстѣ прикосновенія m висмута и сурьмы произошло, вслѣдствіе проходившаго тока, измѣненіе температуры. При этомъ, если *гальваническій токъ шелъ чрезъ мѣсто m отъ сурьмы къ висмуту*, то обнаруживаемый гальванометромъ *термо-электрический токъ* въ томъ же мѣстѣ m имѣетъ направленіе отъ висмута къ сурьмѣ, тѣмъ свидѣтельствуя что мѣсто это *нагрѣто* сравнительно съ сосѣдними частями. Наоборотъ, если *гальваническій токъ шелъ отъ висмута къ сурьмѣ*, то послѣдующій *термо-электрический* обнаруживаетъ охлажденіе мѣста m . Другими словами гальваническій токъ идущій чрезъ m въ такомъ направленіи въ какомъ, когда оно нагрѣто, идетъ чрезъ него термоэлектрический токъ *охлаждаетъ* это мѣсто сравнительно съ сосѣдними частями и, наоборотъ, токъ идущій чрезъ спай обратно термоэлектрическому, возбуждаемому нагрѣваніемъ этого спаи, *повышаетъ* его температуру. Отсюда слѣдуетъ что въ самой термоэлектрической замкнутой пѣли нагрѣваемый спай, принимая отъ нагрѣвающаго источника количество с теплоты, нагрѣвается менѣе чѣмъ какъ нагрѣлся бы еслибы пѣль не была замкнута; нѣкоторая часть количества с идетъ на образованіе тока. Но преобразованная такимъ образомъ теплота не утрачивается, а только переносится, ибо токъ въ свою очередь разрѣшается явленіемъ теплоты: нагрѣваніемъ какъ пѣли вообще такъ и въ особенностіи холоднаго спаи.

Покойный петербургскій профессоръ и академикъ Ленцъ сдѣлалъ въ мѣстѣ прикосновенія висмута и сурьмы небольшую

*, Французскій ученый; описываемыя здѣсь изслѣдованія произведены въ 1834 году.

ямочку наполненную водою и, помощію окружающаго снарядъ льда охладивъ все части до 0° , пропускалъ токъ отъ одного элемента Гровы такъ чтобы токъ этотъ чрезъ мѣсто прикосновения шелъ отъ висмута къ сурьмѣ: вода въ ямочкѣ замерзала.

§ 386. Явленія пирозлектричества въ турмалинѣ и другіхъ тѣлахъ. Нагрѣваніемъ и охлажденіемъ можно возбудить электричество не только въ металлахъ, но и въ нѣкоторыхъ непроводникахъ кристаллическаго строенія. Но въ непроводникахъ оно обнаруживается не токомъ, а противоположнымъ наэлектризованіемъ концовъ нагрѣваемаго или охлаждаемаго куска. Явленіе это, именуемое иногда *пирозлектричествомъ*, было замѣчено Эпинусомъ (1757) въ турмалинѣ.

«Сей камень, говоритъ Эпинусъ въ рѣчи *О сходствѣ электрической силы съ магнитною* (произнесенной въ Петербургѣ на академическомъ собраніи 1758 года, — твердъ и прозраченъ и въ довольно жестокомъ огнѣ невредимъ пребываетъ и потому его должно полагать между дорогими камнями... Чрезъ многочисленные опыты... ясно усмотрѣлъ я въ камнѣ семь двоякую электрическую силу, изъ коихъ первая треніемъ, а другая сообщеніемъ камню извѣстнаго градуса теплоты производится. Электрическая сила которую камень посредствомъ обыкновеннаго тренія получаетъ, отъ свойственной самому простому стеклу ни мало не разнится... Большаго удивленія достойна электрическая сила, которая въ упомянутомъ камнѣ посредствомъ теплоты производится. Когда онъ нагрѣется нѣсколько больше нежели какъ кровь здороваго человѣка обыкновенно тепла бываетъ, то показываетъ весьма сильную, въ разсужденіе своей величины, электрическую силу и долго оную сохраняетъ... Когда въ немъ однажды электрическая сила произведена, то хотя бы камень и совсѣмъ простылъ, однако же она и послѣ того постоянно продолжается, такъ что по прошествіи шести или семи часовъ еще весьма чувствительна бываетъ. При семъ усматривается совершеннѣйшее съ магнитомъ сходство, ибо въ нагрѣтомъ турмалинѣ обыкновенно одна сторона положительную, другая отрицательную электрическую силу имѣетъ».

Кантонъ (1759) показалъ что наэлектризованіе приобретаемое турмалиномъ при повышеніи его температуры бываетъ обратное съ замѣчаемымъ при его охлажденіи, такъ что турмалинъ, который пока увеличивался его температура показывать при концѣ *A* положительное, при концѣ *B* отрицательное электричество обнаруживаетъ, когда охлаждается, при *A* отрицательное при *B* положительное наэлектризованіе. Этими объясняются различныя аномаліи замѣченныя Эпинусомъ и другими. Явленія пирозлектричества замѣчаются также въ борацитѣ, топазѣ и нѣкоторыхъ другихъ тѣлахъ.

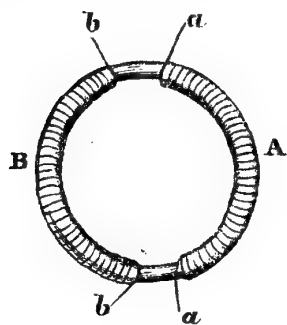
VI. Индуктивные явленія.

§ 387. Открытіе индуктивныхъ токовъ, сдѣланное Фарадеемъ. Когда было открыто что электричество способно возбуждать магнетизмъ, естественно было спросить нельзя ли, наоборотъ, помощію магнита породить электричество *). Предположеніе такой возможности приводилось въ связь съ другимъ не менѣе вѣроятнымъ предположеніемъ, которое Амперъ выразилъ такъ: «каждое наэлектризованное тѣло, не теряя своего электрическаго запаса, возбуждаетъ электричество въ проводникѣ поднесенномъ къ этому тѣлу на

*) Уже Френель стремился разрѣшить этотъ вопросъ, но не получилъ результата. «Когда было замѣчено, говоритъ онъ, что электрическій токъ намагничиваетъ стальной цилиндръ, пробѣгая по обвивающей его металлической проволоцѣ, естественно было испытать, не можетъ ли магнитная полоса произвести гальваническій токъ въ обвивающей ее проволоцѣ. Это не есть, впрочемъ, необходимое слѣдствіе фактовъ, ибо если состояніе намагниченія стали есть, наприимѣръ, только новое расположеніе частицъ или новое распредѣленіе особой жидкости, то легко понять, что это новое состояніе можетъ и не воспроизводить движенія которое его установило. Думая однако что не безполезно было попробовать опытъ, я обвилъ улиткообразно магнитную полосу желѣзною проволокой, избравъ желѣзо потому что оно легко окисляется въ водѣ (я употреблялъ и мѣдь, но безъ успѣха, даже когда въ водѣ было прибавлено кислоты)... Опустивъ концы проволоки въ воду и оставивъ ихъ тамъ на довольно значительное время, я замѣтилъ медленное окисленіе одинаковой степени на обоихъ концахъ... Первые три опыта казались мнѣ представляющими поразительное подтвержденіе моихъ предположеній, и я сообщилъ Академіи въ засѣданіи 6-го ноября (1820), что я только что получилъ довольно явные признаки гальваническаго дѣйствія магнита. Но въ послѣдствіи я замѣтилъ многія аномаліи, которыхъ причины не могъ открыть, но которыя заставляютъ меня считать весьма сомнительнымъ то что прежде казалось вѣрнымъ». Въ свою очередь, Амперъ, «обвивъ магнитъ изолированную проволокою стараясь обнаружить въ ней существованіе тока возбужденнаго магнитомъ», испытывая его присутствіе дѣйствіемъ на магнитную стрѣлку; но тоже безъ результата.

и некоторое разстояніе. Не оказываетъ ли такого же дѣйствія и электричество текущее въ проводокѣ и об-
разующее токъ? Если такъ, то подобное же дѣйствіе
долженъ бы оказывать и магнитъ.“ Еслибы предполо-
женіе оправдалось, то это было бы прямымъ под-
твержденіемъ ученія о внутреннихъ электрическихъ
токахъ магнита. Но попытки оправдать эти положе-
нія опытомъ **) оставались безуспѣшны до 1831 го-
да, когда Фарадей открылъ *индуктивные токи*.

Это великое открытіе было плодомъ многолѣт-
нихъ изысканій. Еще въ 1825 году Фарадей пропус-
калъ токъ чрезъ изолиро-
ванную проволоку прове-
денную рядомъ съ другою,
концы которой соединя-
лись съ гальванометромъ,
и не замѣтилъ никакого
дѣйствія. Первый удачный
опытъ былъ сдѣланъ въ
концѣ августа 1831 года,
когда наконецъ Фарадею
удалось замѣтить главную
особенность явленія, вслѣд-



Фиг. 562.

ствие которой оно до тѣхъ поръ ускользало отъ на-
блюденія. Фарадей взялъ желѣзное кольцо (фиг. 562),

*) Въ июль 1821 года Амперъ сдѣлалъ рядъ опытовъ съ цѣлью
обнаружить искомое дѣйствіе, но пришелъ къ отрицательному за-
ключенію. Онъ „повѣсилъ на тонкой нити мѣдное кольцо внутри
спирально согнутой мѣдной изолированной проволоки, очень
близко къ ея оборотамъ; концы проволоки сообщались съ по-
люсами сильной гальванической батареи. Еслибы въ кольцо
присутствовалъ (возбужденный чрезъ вліяніе) электрическій
токъ, то кольцо это должно было бы притягиваться или от-
талкиваться сильнымъ магнитомъ. Но ни притяженія, ни от-
талкиванія не было.“ Тотъ же опытъ Амперъ, въ сентябрѣ
1820, года повторилъ въ Женевѣ, въ лабораторіи А. Деларива,
вмѣстѣ съ послѣднимъ, и замѣтилъ нѣкоторое дѣйствіе. „Въ мо-

наматалъ на него двѣ изолированныя проволоки; одну
В на одной половинѣ, другую А на другой половинѣ.
Концы проволоки В соединилъ мѣдною проволокою
проведенною надъ магнитною стрѣлкой (долженство-
вавшей играть роль гальванометра); концы прово-
локи А соединилъ съ батареею изъ десяти элемен-
товъ. Въ моментъ соединенія „обнаружилось замѣт-
ное дѣйствіе на стрѣлку. Она пришла въ качаніе, но
скоро возвратилась въ прежнее положеніе. Въ мо-
ментъ когда прервано было сообщеніе А съ батареею,
обнаружилось новое возмущеніе стрѣлки“.

§ 388. Индуктивный токъ чрезъ прерываніе и замы-
каніе возбуждающей его цѣпи. Желая привести
опытъ въ возможно простую форму *) и обнаружить
дѣйствіе тока на сосѣднюю проволоку независимо отъ
намагниченія желѣза (какъ было въ описанномъ опы-
тѣ), Фарадей наматалъ на деревянный валъ вмѣстѣ
двѣ проволоки, по 203 фута длиною каждая, такъ чтобъ
онѣ не касались металлически между собой, будучи
раздѣлены непроводящимъ слоемъ (для этого прово-
локи были взяты не голыя, а обвитыя шелкомъ). Кон-
цы одной изъ проволокъ были проведены къ полю-
самъ гальванической батареи изъ ста паръ мѣди и
цинка **), концы другой соединены съ гальваноме-
тромъ.

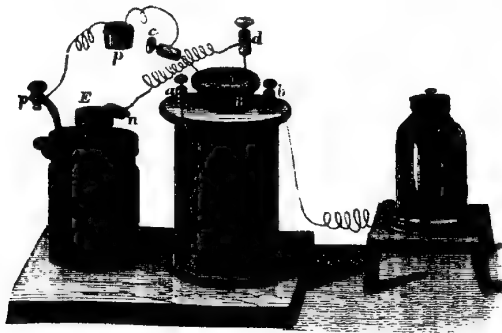
ментъ, когда мы, говоритъ онъ, сообщали концы проволоки
съ батареею, кольцо притягивалось или отталкивалось магни-
томъ, смотря потому какой передъ нимъ былъ полюсъ.“ Дѣй-
ствіе было весьма слабое, опытъ показалеся Амперу непосто-
яннымъ, и блеснувшій лучъ великаго открытія ускользнулъ
отъ его вниманія. Онъ оставилъ опыты, какъ не давшіе опре-
дѣлительнаго результата.

*) После первыхъ опытовъ, Фарадей писалъ къ своему другу
Филлипсу: „Я вновь занялъ электро-магнетизмомъ и кажется
удалось захватить хорошую вещь; но утверждать еще не могу.
Еще можетъ быть вытасу или вмѣсто рыбы послѣ всѣхъ мо-
ихъ трудовъ“.

**) Мѣтѣ спланая батарея, при малой чувствительности галь-
ванометра, не дала вѣственнаго результата.

Въ моментъ соединенія (первой) проволоки съ батареей обнаруживалось мгновенно слабое дѣйствіе (второй) на гальванометръ; подобное же слабое дѣйствіе обнаруживалось, когда соединеніе съ батареей прерывалось. Пока токъ проходилъ по (первой) проволоцѣ, нельзя было замѣтить никакого слѣда дѣйствія (второй на гальванометръ), хотя батарея была очень сильна, какъ можно было убѣдиться изъ общаго нагрѣванія проволоки и блестящей искры при разрядѣ помощію углей... Дѣйствіе было мгновенное и по натурѣ болѣе сходное съ электрическою волной, пробѣгающею по проводнику при разрядѣ лейденской банки, чѣмъ съ разрядомъ вольтовой батареей.

Фиг. 563 изображаетъ расположеніе снаряда для повторенія опыта Фарадея въ вѣсколку измѣненной



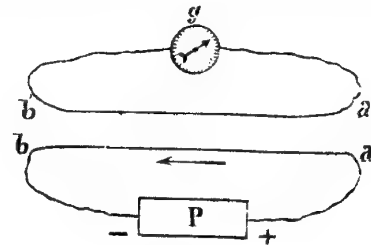
Фиг. 563.

формѣ. Проволоки не намотаны вѣсть на одну катушку, но составляютъ отдѣльныя катушки или бобины, изъ коихъ соединяемая съ батареей помѣщена внутри испытывающей индуктивное дѣйствіе. Концы первой соединены, при посредствѣ чашечки со ртутью p , съ батареей (при достаточно чувствительномъ гальванометрѣ довольно одного элемента чтобы обнаружить дѣйствіе), концы второй соединены съ гальванометромъ. Какъ скоро кончикъ проволоки вынимается изъ

ртути, токъ прерывается. Въ этотъ моментъ возбуждается мгновенный токъ во вѣшной проволоцѣ, и стрѣлка гальванометра получаетъ толчокъ. Вновь опустивъ кончикъ въ ртуть, замыкаемъ токъ; стрѣлка получаетъ толчокъ въ противоположную сторону; но скоро опять успокоивается, и пока во внутренней бобинѣ идетъ постоянный токъ, никакого индуктивнаго дѣйствія не обнаруживается.

Еслибы, оставивъ внутреннюю проволоку въ постоянномъ соединеніи съ элементомъ, мы стали бы то прерывать, то возобновлять сообщеніе вѣшной проволоки съ гальванометромъ, то никакого индуктивнаго дѣйствія не обнаружилось бы.

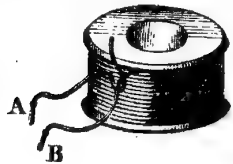
Проволока соединяемая съ батареею именуется *первичною* или *индуцирующею*, соединенная съ гальванометромъ *вторичною* или *индуктивною*; возбуждаемый токъ *индуктивнымъ* токомъ; самое дѣйствіе *индукціею*. Наблюдая въ какую сторону отклоняется стрѣлка гальванометра, не трудно убѣдиться что индуктивный токъ появляющійся въ моментъ замыканія цѣпи имѣетъ обратное направленіе съ токомъ первичной проволоки. Онъ именуется *обратнымъ*. Токъ обнаруживающійся въ индуктивной проволоцѣ въ моментъ прерыванія цѣпи—имѣетъ одинаковое направленіе съ индуциру-



Фиг. 564.

ющимъ токомъ и именуется потому *прямымъ*. Такимъ образомъ если въ проволоцѣ соединенной съ батареей P (фиг. 564 изображающая опытъ въ простѣйшей схемѣ) токъ идетъ отъ a къ b , то въ

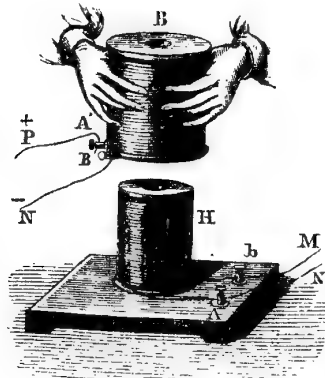
моментъ его прерыванія въ соседней проволоцѣ обнаружится индуктивный токъ по тому же направленію, т.-е. отъ a' къ b' . Индуктивный токъ пойдетъ отъ b' въ a' нъ моментъ замыканія цѣпи.



Фиг. 565.

Употребленіе, вмѣсто прямолінейныхъ проволоцъ, цѣлыхъ бобинъ (фиг. 565), значительно усиливаетъ дѣйствіе.

§ 389. Индуктивные токи чрезъ приближеніе и удаленіе, Фарадей показалъ далѣе что индуктивные токи могутъ возбуждаться не только чрезъ прерываніе или замыканіе тока въ индуктирующей проволоцѣ, но также чрезъ *сближеніе* между собою или *удаленіе* одной отъ другой индуктирующей и индуктивной проволоцъ.



Фиг. 566.

„Мѣдная проволока во много футовъ длиною была согнута широкими зигзагами, подобно буквѣ W и укрѣплена на одной сторонѣ широкой доски; другая

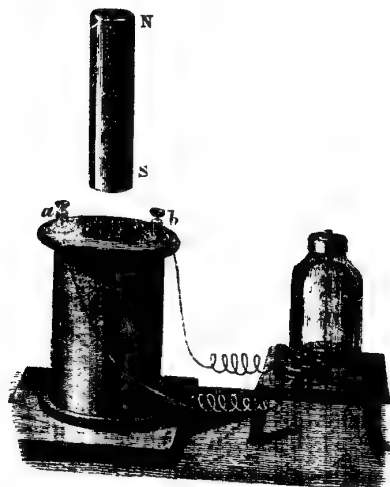
такая же проволока подобнымъ же образомъ располагалась на другой доскѣ. Концы одной были соединены съ гальванометромъ, другой—съ гальваническою батареей. Когда одна доска быстро приближалась къ другой, стрѣлка гальванометра отклонялась; она отклонилась въ противную сторону при удаленіи досокъ одной отъ другой. Производя сближеніе и удаленіе досокъ согласно съ качаніями стрѣлки, можно было сдѣлать качанія эти очень значительными. Какъ только прекращалось движеніе досокъ, стрѣлка скоро возвращалась въ обыкновенное положеніе покоя“.

Фиг. 566 изображаетъ какъ производится этотъ опытъ помощію двухъ бобинъ. Индуктивный токъ при приближеніи бываетъ *обратный*, при удаленіи *прямой*.

§ 390. Индуктирующее дѣйствіе возрастающаго и ослабѣвающаго тока. Сравненіе индуктивныхъ токовъ, прямого и обратнаго, между собою. Одинаковое съ приближающимся токомъ имѣетъ дѣйствіе токъ остающійся неподвижно, но сила котораго *возрастаетъ*. Токъ *ослабѣвающий* имѣетъ дѣйствіе подобное удаляющемуся: возбуждаетъ прямой индуктивный токъ.

Самый процессъ замыканія можно разсматривать какъ быстрое возрастаніе тока отъ нуля до нѣкоторой опредѣленной силы; прерываніе какъ быстрое ослабѣваніе отъ нѣкоторой опредѣленной силы до нуля. Последнее явленіе происходитъ быстрѣе перваго и потому возбуждаемый имъ прямой токъ кратковременнѣе обратнаго возбуждаемаго возрастаніемъ, происхдающимъ болѣе постепенно чѣмъ внезапное прекращеніе вслѣдствіе перерыва. Но количество электричества приводимаго въ движеніе въ прямомъ и обратномъ токѣ одинаково. Объ этомъ свидѣтельствуетъ ихъ дѣйствіе на гальванометръ, оказывающееся одинаковымъ. Но то же количество электричества двигаясь въ проволоцѣ въ кратчайшее время должно производить въ продолженіе этого времени токъ болѣе значительнаго напряженія. Таковымъ и оказывается прямой токъ. Дѣйствіе на стрѣлку происходитъ какъ толчокъ. Не смотря на разницу напряженія, оно одинаково; ибо хотя толчокъ прямого тока сильнѣе, за то кратковременнѣе, толчекъ же обратнаго слабѣе, но длится болѣе значительное время; одно обстоятельство вознаграждается другимъ.

§ 391. Индуктивные токи возбуждаемые действием магнита. Магнитъ, какъ естественная совокупность токовъ, также производитъ индуктивное дѣйствіе. Фарадей показалъ что если намотать проволоку на цилиндръ пустой внутри, такъ чтобы образовалась бобина съ каналомъ по оси (фиг. 567), соединить ее концы



Фиг. 567.

а и б съ гальванометромъ и быстро вдвинуть въ бобину магнитъ, то стрѣлка гальванометра получитъ толчокъ, свидѣтельствующій объ индуктивномъ токъ возбуждаемомъ въ проволоку. Если магнитъ вынуть, то во время его движения вновь возбудится индуктивный токъ противоположнаго съ первымъ направленія. Пока магнитъ остается безъ движенія, въ бобинѣ никакого тока не замѣчается *). Токъ въ про-

*) Причина по которой Амперъ и другіе ученые не обнаружили электрическаго (индуктивнаго) дѣйствія токовъ и магнитовъ на окружающіе проводники, несмотря на весьма цѣлесообразное расположеніе приборовъ, заключалась въ томъ, что дѣйствіе

волоку при приближеніи магнита *обратный*, то-есть противоположнаго направленія съ токами предполагаемыми въ магнитъ по теоріи Ампера; при удаленіи—*прямой*, то-есть одного направленія съ токами Ампера.

Фарадей показалъ далѣе что дѣйствіемъ магнита можно не только возбудить токъ способный отклонить стрѣлку гальванометра, но и произвести электрическую искру. Для этого онъ обмоталъ изолированную проволокой желѣзную полосу служившую якоремъ магниту; къ одному концу (фиг. 568) этой проволоки припаялъ мѣдную пластинку, а другой конецъ изогнулъ такъ что, будучи положенъ на мѣдную пластинку, онъ держался на ней, сохраняя прикосновеніе. Чтобы прикосновеніе было тѣснѣе, пластинка, тамъ гдѣ лежалъ на ней стѣбъ проволоки, амальгамировалась каплею ртути. Когда якорь отрывался, сотрясеніе нарушало прикосновеніе, и появлялась искра, вызванная дѣйствіемъ магнита, породившимъ въ проволоку электрическую волну индуктивнаго тока.



Фиг. 568.

Описанными опытами разрѣшается вопросъ о возбужденіи электричества дѣйствіемъ магнита. Они по-

это обнаруживается не въ той совѣтъ формѣ, какъ того ожидали. Исккали дѣйствія постоянныхъ токовъ и неподвижныхъ магнитовъ: дѣйствіе обнаруживаютъ токи мѣняющіеся въ напряженіи, магниты находящіеся въ движеніи. Гровъ замѣчаетъ, что еслибы идея о сохраненіи энергіи въ природѣ имѣли въ ту эпоху то значеніе, какое они получили впоследствии, то ученые легко убѣдились бы въ невозможности произвести дѣйствіе избраннѣе или путемъ. „Послѣ того какъ Эрстедъ, говоритъ Гровъ, открылъ явленія электро-магнетизма, талантливейшіе ученые рассуждали такъ: если электричскій токъ, пробѣгая по проволоку вокругъ желѣзной полосы, производитъ магнетизмъ, то,—такъ какъ дѣйствіе равно и противоположно противодействию,—магнитъ помѣщенный внутри согнутой спирально проволоки, долженъ производить въ ней электричскій токъ. Представь ихъ уму, что еслибы остающійся на мѣстѣ магнитъ могъ поражать электричество, а следовательно и движеніе, то мы имѣли бы вѣчное движеніе,—они, вѣроятно, предупредили бы открытіе Фарадея и нашли бы, что требуется лишь двигать магнитъ относительно проволоки, и тогда можно ожидать возбужденія электричества, не впадая въ нелѣпость“

служили основаніемъ къ устройству *магнито-электрическихъ* машинъ, о которыхъ скажемъ ниже.

§ 392. Усиленіе индуктивныхъ дѣйствій помощію *мягкаго желѣза* помѣщаемого въ бобины. Всѣ явленія индукціи значительно усиливаются, если опыты производятся съ бобинами въ каналѣ которыхъ помѣщено желѣзо (желѣзанный цилиндръ или еще лучше пучокъ желѣзныхъ проволокъ). Индуцирующее дѣйствіе тока соединяется въ такомъ случаѣ съ индуцирующимъ дѣйствіемъ магнита, какимъ временно становится желѣзо. Такъ, если въ опытѣ изображенномъ на фиг. 563, внутри индуцирующей bobины находится желѣзо, то въ моментъ замыканія тока къ дѣйствию проволоки присоединяется дѣйствіе желѣза быстро пріобрѣтшаго магнетизмъ и представляющаго собою какъ бы магнитъ вдругъ вдвинутый въ бобину тѣмъ полюсомъ въ которомъ направление тока одинаково съ направлениемъ тока намагничивающей проволоки. Оба индуцирующія дѣйствія будутъ слѣдовательно согласны между собою и возбуждать сильный *обратный* токъ въ индуктивной проволоцѣ. Удача перваго опыта Фарадея, упомянутаго въ § 387, зависѣла отъ желѣзнаго кольца, на которое наматывались проволоки.

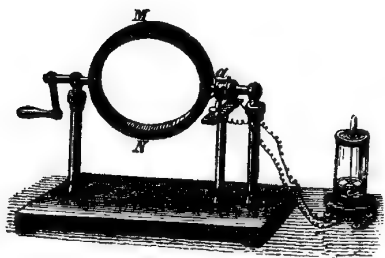
§ 393. Законъ Ленца. Ленцъ высказалъ слѣдующій законъ позволяющій предсказать направленіе индуктивнаго тока въ самыхъ разнообразныхъ случаяхъ индуктивнаго дѣйствія. „Если металлическій проводникъ движется въ сосѣдствѣ гальваническаго тока или магнита, то въ немъ возбуждается гальваническій токъ, имѣющій такое направленіе что будь онъ въ покоящейся проволоцѣ, онъ произвелъ бы движеніе противоположное тому какое здѣсь дано ей (предполагая что покоящаяся проволока можетъ перемѣщаться только по направленію этого движенія или

противоположно ему)⁴. Другими словами индуктивный токъ, возбуждающійся въ проволоцѣ движущейся въ сосѣдствѣ тока или магнита противодействуетъ механическому усилию, какимъ движеніе производится. Такимъ образомъ при сближеніи проводника съ токомъ или магнитомъ образуется обратный, то-есть производящій отталкиваніе индуктивный токъ, при удаленіи прямой, то-есть обнаруживающій притяженіе. Избытокъ работы въ случаѣ возбужденія индуктивныхъ токовъ сравнительно съ тѣмъ случаемъ когда нѣтъ индуктивныхъ явленій и есть истинный источникъ индуктивныхъ токовъ и тѣхъ дѣйствій какія они производятъ. Въ этомъ смыслѣ индуктивный токъ есть случай преобразованія механической работы въ электрическое движеніе, въ свою очередь разрѣшающееся явленіями теплоты и иными дѣйствіями.

Чтобы прилагать правило Ленца къ случаю возбужденія тока чрезъ замкнутіе, прерываніе и вообще возрастаніе и ослабленіе тока первичной проволоки, должно замыканіе или возрастаніе разсматривать какъ случай приближенія, прерываніе и ослабленіе какъ случай удаленія тока.

§ 394. Индуктивные токи отъ дѣйствія земли. Земной шаръ, дѣйствуя подобно магниту, можетъ также возбуждать индуктивные токи. Въ простѣйшей формѣ Фарадей обнаружилъ это слѣдующимъ опытомъ. Мѣдная проволока въ восемь футовъ длиною и $\frac{1}{2}$ линіи толщиною была своими концами соединена съ проволокою гальванометра, такъ что вмѣстѣ съ нею образовала одинъ замкнутый кругъ; затѣмъ была согнута приблизительно въ форму четырехугольника. Нижняя сторона четырехугольника, включавшая гальванометръ, укрѣплялась неподвижно, а самый четырехугольникъ могъ около нея обращаться въ ту или другую сторону, проходя подвижными вѣтвями надъ гальванометромъ.

При движеніи проволоки стрѣлка гальванометра отклонялась. Снарядъ изображенный на фиг. 569, именуемый

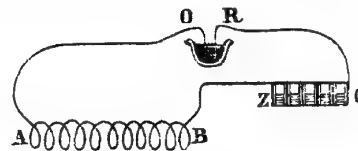


Фиг. 569.

земнымъ индукторомъ и состоящій изъ изолированной проволоки многократно обвитой вокругъ рамки, которую помощію рукоятки можно обращать въ ту или другую сторону, можетъ служить для изслѣдованія индуктивнаго дѣйствія земли. Если, помѣстивъ снарядъ такъ чтобы ось, на которой поворачивается рамка, была направлена отъ востока къ западу, заставимъ рамку сдѣлать быстро полуоборотъ такъ что часть *N* находившаяся внизу придется вверху, то замѣтимъ что стрѣлка гальванометра съ которымъ соединены концы проволоки получитъ толчекъ и отклоненіе. Дѣйствіе не обнаруживается, если поставимъ снарядъ такъ чтобы ось вращенія имѣла направленіе совпадающее съ направленіемъ стрѣлки наклоненія.

§ 395. Индуктивное взаимодѣйствіе оборотовъ одной и той же проволоки. Экстра-токъ. Если отъ полюсовъ батареи изъ небольшого числа элементовъ провести короткія проволоки въ чашечку со ртутью и, выпня кончикъ одной изъ нихъ изъ ртути, прерывать токъ, то при каждомъ прерываніи обнаруживается сла-

бая искра. Но если одну изъ короткихъ проволокъ замѣнить длинною согнутою (фиг. 570) многими оборота-



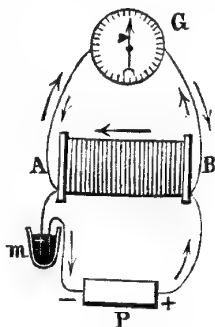
Фиг. 570.

ми, то искра при прерываніи значительно усилится. Между тѣмъ токъ, устанавливающійся когда цѣпь замкнута, во второмъ случаѣ слабѣе чѣмъ въ первомъ. Какимъ же образомъ отъ прерыванія болѣе слабого тока обнаруживается болѣе сильная искра? Опытъ еще рѣзче если вмѣсто длинной согнутой проволоки взять индуктивную катушку (особенно съ желѣзомъ внутри). Явленіе это усмотрѣнное многими наблюдателями находится въ очевидной связи съ фактомъ замѣченнымъ (1833) Дженкинсомъ (Jenkins). Наблюдатель беретъ смоченными (для лучшей проводимости) руками концы катушки введенной въ цѣпь. При этомъ нѣкоторая часть тока идущаго въ цѣпи проходитъ черезъ наблюдателя, но онъ не ощущаетъ ея присутствія. Но если прервать токъ, то наблюдателя получаетъ значительный ударъ. Чтобы рѣзче обнаружить явленіе, къ концамъ катушки, присоединяются два мѣдныхъ цилиндра которые наблюдатель держитъ во влажныхъ рукахъ.

Фарадей объяснилъ явленіе индуктивнымъ токомъ рождающимся, въ моментъ прерыванія, въ оборотахъ катушки, вслѣдствіе ихъ индуктивнаго взаимодѣйствія. Токъ въ послѣдовательныхъ оборотахъ замираетъ постепенно. Прекратившись въ одномъ оборотѣ онъ тѣмъ самымъ возбуждаетъ индуктивный токъ въ со-сѣднихъ оборотахъ; токъ этотъ прямой, то-есть одного направленія съ первоначальнымъ, который та-

кимъ образомъ продолжается нѣкоторое время въ формѣ напряженного индуктивнаго тока. Индуктивный токъ этотъ Фарадей наименовалъ *экстра-токомъ*.

Его присутствие легко обнаруживается помощію опыта изображеннаго на фиг. 571. Отъ концевъ катушки *AB* соединенъ проводокъ къ гальванометру *G*. Часть тока беретъ путь чрезъ эту проволоку, и стрѣлка гальванометра отклоняется, обнаруживая присутствие тока идущаго какъ показываютъ маленькія внутреннія стрѣлки. Помощію препятствія стрѣлкѣ не даютъ отклоняться въ ту сторону куда гонитъ ее дѣйствіе тока. Но прервемъ токъ, вынувъ кончикъ проволоки изъ чашечки со ртутью *m*. Въ катушкѣ обнаружится экстра-токъ, идущій отъ *B* къ *A*, который, разряжаясь чрезъ гальванометръ, пробѣжитъ въ немъ въ направленіи противоположномъ съ направленіемъ первоначальнаго тока (новое направленіе означено вѣшними стрѣлками: и моментально отклонитъ стрѣлку въ сторону гдѣ нѣтъ препятствія. Еслибы вмѣсто гальванометра концы катушки были соединены помощію тѣла наблюдателя, то наблюдатель, въ моментъ прерыванія, получилъ бы ударъ, какъ упомянуто выше *).

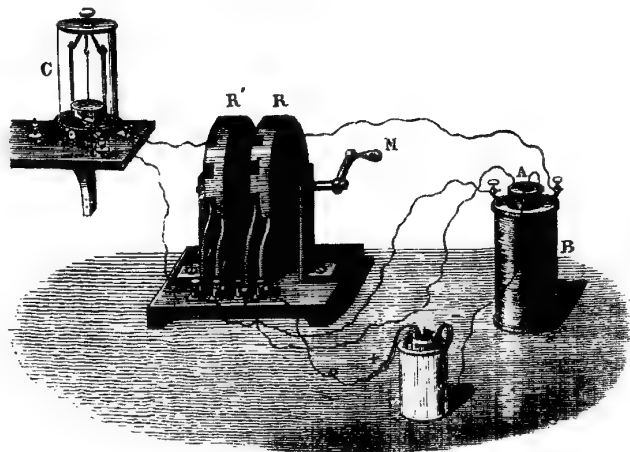


Фиг. 571.

§ 396. Дѣйствіе ряда индуктивныхъ токовъ какъ одного непрерывнаго тока. Если въ продолженіе даннаго времени много разъ замыкать и прерывать токъ въ индуктирующей проволоцѣ, то въ индуктивной получимъ рядъ индуктивныхъ токовъ послѣдовательно пробѣгающихъ по ней изады и впередъ: обратный токъ при каждомъ замыканіи, прямой при каждомъ прерываніи. Производится помощію диска изъ стекла, кости или дерева (вообще дурнаго проводника) приводимого рукояткою въ движеніе на оси проходящей чрезъ его центръ. Дискъ окруженъ металлическимъ кольцомъ съ вырѣзками. Двѣ пружины прилегаютъ къ кольцу, одна касаясь непрерывной металлической части, другая вырѣзокъ. Если пружины соединить съ полюсами батареи, то очевидно, токъ будетъ замыкаться всякій разъ когда обѣ пружины будутъ касаться металлической части кольца: прерываться какъ скоро пружина соответствующая вырѣзкамъ съ металлической части перейдетъ на тѣло самого диска.

* Индуктивное дѣйствіе оборотовъ одной и той же проволоки обнаруживается также и при замыканіи тока: обратный экстра-токъ, замедляющій наступленіе замыкаемаго.

Снарядъ (фиг. 572) изъ двухъ соединенныхъ дисковъ вращающихся на общей оси можетъ служить къ отдѣленію прямыхъ индуктивныхъ токовъ возбуждаемыхъ прерываніемъ отъ обратныхъ возбуждаемыхъ замыканіемъ тока въ индуктирующей проволоцѣ. Одинъ изъ дисковъ *R* вводится въ цѣпь, состоящую изъ элемента и индуктирующей проволоки



Фиг. 572.

A; другой *R'* въ цѣпь образованную индуктивною проволокою *B* и гальванометромъ *C*. Если въ проволоцѣ *B* возбужденъ индуктивный токъ, и дискъ *R'* стоитъ такъ что обѣ его пружины касаются металлической части кольца и слѣдовательно находятся между собою въ металлическомъ соединеніи, то токъ пройдетъ чрезъ гальванометръ; но въ случаѣ когда только одна изъ пружинъ касается металлической части, токъ, хотя бы и былъ возбуждаемъ, не можетъ образоваться, такъ какъ въ цѣпи находится перерывъ. Если диски на своей оси установлены одинъ относительно другаго такъ, что когда пружины одного находятся въ металлическомъ соединеніи, пружины другаго также обѣ касаются металлической части своего диска, то въ гальванометръ проходитъ индуктивный токъ соответствующій моментамъ замыканія (обратный). Если же диски поставлены такъ что пружины диска *R'* приводятся въ металлическое соединеніе въ моментъ когда пружины диска *R* разомкнуты, то въ гальванометръ проникаетъ токъ соответствующій прерываніямъ (прямой). Вращая диски установленныя первымъ или вторымъ способомъ, пропускаемъ чрезъ гальванометръ или рядъ обратныхъ или рядъ прямыхъ индуктивныхъ токовъ. Такая совокупность тѣхъ или другихъ токовъ дѣйствуетъ какъ одинъ токъ неизмѣннаго направленія, способный производить всѣ

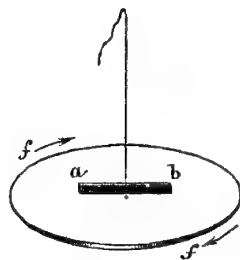
дѣйствія обыкновеннаго гидроэлектрическаго или термоэлектрическаго тока, отличающагося впрочемъ отъ нихъ тѣмъ что не есть въ строгомъ смыслѣ непрерывный, ибо состоитъ изъ быстро слѣдующихъ одинъ за другимъ толчковъ. Эта прерывчатость есть причина сильнаго физиологическаго дѣйствія индуктивныхъ токовъ.

Для физиологическихъ дѣйствій нѣтъ, впрочемъ, надобности раздѣлять токи, ибо поперебное движеніе электричества взадъ и впередъ производить то же дѣйствіе какъ и прерывистый токъ, идущій въ одномъ направленіи. Въ электро-медицинскихъ снарядахъ прерываніе первичнаго тока производится обыкновенно помощію прерывателя Нефа о которомъ скажемъ при описаніи снаряда Румкорфа.

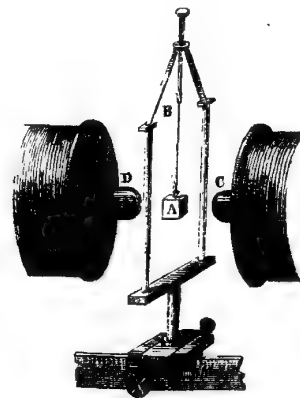
§ 397. Магнетизмъ вращенія открытый Араго. Опредѣляя вмѣстѣ съ Ал. Гумбольдтомъ въ 1822 году силу земнаго магнетизма на скатѣ возвышенности въ окрестностяхъ Гренвича въ Англіи, Араго замѣтилъ *) что „магнитная стрѣлка приведенная въ качаніе успокоивается скорѣе когда помѣщена въ своемъ ящикѣ чѣмъ когда удалена отъ всякаго посторонняго тѣла“. Араго произвелъ опыты (1824 г.), заставляя стрѣлку качаться надъ досками изъ различныхъ проводящихъ веществъ, и нашелъ что тѣла эти оказываютъ успокоивающее дѣйствіе на качающуюся стрѣлку, быстро уменьшая величину свершаемыхъ ею размаховъ, но не измѣняя замѣтно продолжительности каждаго отдѣльнаго качанія. „Но если, разсуждалъ онъ, стрѣлка находящаяся въ движеніи останавливается доскою находящеюся въ покоѣ, то не слѣдуетъ ли отсюда что находящаяся въ покоѣ стрѣлка должна быть увлечена движущеюся подъ нею доскою.“ Опытъ оправдалъ это заключеніе. „Дѣйствительно, если вращать (говоритъ Араго въ сообщеніи Парижской Академіи 1825 г.) съ опредѣленною скоростію, напримѣръ, мѣдный дискъ помѣщенный подъ магнитною стрѣлкою (фиг. 573), то стрѣлка не остается въ обыкновенномъ своемъ

*) Сколько известно Гамбей (извѣстный французскій строитель точныхъ инструментовъ) обратилъ вниманіе Араго на этотъ фактъ.

положеніи: она отклоняется отъ магнитнаго меридіана и тѣмъ далѣе чѣмъ быстрѣе движеніе. Если вращеніе достаточно быстро, то стрѣлка (увлекаемая дѣйствіемъ диска) приходитъ въ непрерывное вращательное движеніе около нити на которой виситъ.“ Чтобы воздухъ возмущаемый вращающимся дискомъ не могъ оказать дѣйствія на стрѣлку, она замыкается со всѣхъ сторонъ, будучи сверху прикрыта колпакомъ, а снизу отдѣлена отъ диска тонкою бумажною перегородкою.



Фиг. 573.



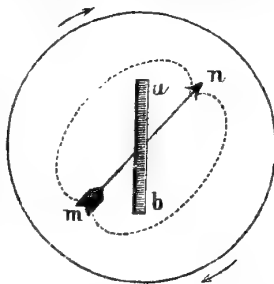
Фиг. 574.

Если покоящаяся мѣдь останавливаетъ качающуюся стрѣлку, то наоборотъ покоящійся магнитъ долженъ останавливать движущуюся мѣдь. Это подтверждается слѣдующимъ любопытнымъ опытомъ *). Между полюсами сильнаго электро-магнита вѣшаютъ мѣдный кубъ (фиг. 574) и, сильно закрутивъ нить, даютъ ей раскручиваться. Кубъ, пока токъ не пущенъ въ электро-магнитъ, приходитъ въ быстрое враще-

*) Точнаго указанія кѣмъ первоначально произведенъ этотъ опытъ не имѣется. Обыкновенно онъ приписывается Фарадею; Верде приписываетъ его Плюккеру.

тельное движение. Но какъ скоро токъ замкнуть, и снарядъ приобрѣлъ магнитную силу, кубъ мгновенно останавливается (или точнѣе, получаетъ медленное вращение). Окружающая среда какъ бы становится вязкою, противопологающею большое препятствіе движению, препятствіе которое можно сравнить съ *невидимымъ треніемъ* (по выраженію Тиндала).

§ 398. Объясненіе явленій магнетизма вращенія. Объясненіе описанныхъ явленій, называемыхъ *магнетизмомъ вращенія*, дано Фарадеемъ на основаніи ученія объ индуктивныхъ токахъ. Припомнимъ опытъ Барлова съ металлическимъ кругомъ (колесо Барлова) по радіусу котораго, въ сосѣдствѣ съ поднесеннымъ полюсомъ магнита, пропускается гальваническій токъ. Колесо приходитъ въ быстрое вращательное движение. По закону Ленца слѣдуетъ что если въ дискѣ тока нѣтъ, но онъ механически приведенъ во вращеніе въ сосѣдствѣ полюса магнита, то въ немъ долженъ *возбудиться индуктивный токъ* направленный по радіусу, и взаимодѣйствіе котораго съ магнитнымъ полюсомъ должно затруднять вращеніе колеса, дѣйствуя вопреки механическому усилію его вращающему. Магнитъ стремится остановить дискъ, дискъ по противодействию стремится увлечь магнитъ и дѣйствительно увлечетъ если магнитъ подвиженъ. Возбужденный такимъ образомъ токъ означенъ на фиг. 575 стрѣлкою. Онъ замыкается въ тѣлѣ самаго диска какъ означено пунктиромъ. Такъ какъ индуктивное возбужденіе требуетъ нѣкотораго времени чтобы обнаружиться со всею силою соотвѣтствующею данному случаю, то направление тока возбужденнаго въ дискѣ уходитъ нѣсколько впередъ сравнительно съ направлениемъ магнита, какъ и означено стрѣлкою *mn*, представляющею направленіе въ какомъ происходитъ движеніе электричества. Направленіе это, при данной скорости и данномъ положеніи магнита, остается неизмѣннымъ въ пространствѣ, хотя частицы диска имъ захватываемыя безпрерывно мѣняются вслѣдствіе вращенія этого послѣдняго. Касаясь металлическимъ пробочками, отъ которыхъ проволоки проведены къ гальванометру, опредѣленныхъ пунктовъ вращающагося диска и сохраняя пробочки неподвижно въ прикосновеніи съ проходящимъ подъ ними дискомъ, можно обнаружить токи возбуждаемые въ дискѣ.



Фиг. 575.

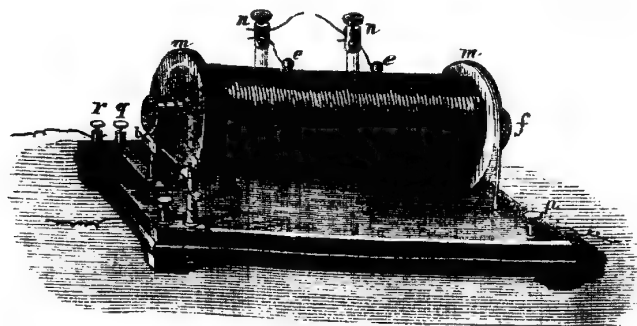
§ 399. Опытъ Фуко надъ переходомъ работы въ теплоту. Между полюсами сильнаго электромагнита помещается мѣдный дискъ приводимый въ быстрое вращеніе помощью системы зубчатыхъ колесъ. Пока токъ электромагнита не замкнуть, и снарядъ не оказываетъ магнитнаго дѣйствія, рукоятка сообщающая вращеніе диску легко приводится въ движеніе и сохраняетъ его нѣкоторое время послѣ того какъ вращающая рука отнята. Но замкнемъ токъ. Электромагнитъ приобретаетъ магнитныя свойства и тотчасъ обнаруживаетъ индуктивное дѣйствіе на дискъ: вращать его сдѣлается трудно, какъ будто въ снарядѣ появилось значительное треніе, которое надлежитъ побѣдить. При этомъ, если вопреки останавливающему дѣйствію магнита, продолжать быстро вращать дискъ, то дискъ этотъ *нагрѣвается* до 40°, 50° и болѣе градусовъ. Излишекъ работы ведетъ за собою развитіе теплоты. Опытъ представляетъ переходъ механической работы въ теплоту путемъ развитія индуктивныхъ токовъ. Взаимодѣйствіе магнита и вращающагося диска порождаетъ въ этомъ дискѣ индуктивные токи. Токи эти его нагрѣваютъ. Механическая работа порождаетъ, слѣдовательно, движеніе электричества, въ свою очередь разрывающееся явленіемъ теплоты.

Еще прежде Фуко, Джоль (1845) приводилъ въ движеніе между полюсами сильнаго электромагнита индуктивную катушку и наблюдалъ съ одной стороны механическую работу потребную для преодоленія взаимодѣйствія магнита и возбуждаемыхъ имъ въ бобинѣ индуктивныхъ токовъ, съ другой стороны нагрѣваніе испытываемое индуктивною проволокой отъ проходящихъ въ нее токовъ. Опытъ служилъ для опредѣленія *механическаго эквивалента теплоты*, и это была первоначальная метода, какою пользовался Джоль для приблизительнаго опредѣленія этого важнаго элемента теоріи теплоты.

§ 400. Индуктивный снарядъ Румкорфа. Имѣя въ виду помощь индуктивныхъ дѣйствій произвести явленія электрическаго напряженія подобныя тѣмъ какія производятся помощью электрической машины (явленія

статического электричества) французскій ученый Мас-сонъ въ сотрудничествѣ Бреге (Bréguet), около 1842 г. устроилъ индуктивную bobину съ большимъ числомъ оборотовъ старательно изолированной проволоки и получилъ свѣтъ въ пустотѣ, зарядженіе конденсатора и другія электрическія явленія; обнаружилъ вмѣстѣ съ тѣмъ значительную разницу въ напряженіи прямого и обратнаго индуктивныхъ токовъ. Въ 1851 г. Румкорфъ *), пользуясь отчасти указаніями опытовъ Массона и Бреге, устроилъ свой знаменитый снарядъ, обративъ особенное вниманіе на самое тщательное изолированіе тонкой индуктивной проволоки. Постепенными усовершенствованіями снарядъ этотъ доведенъ нынѣ до поразительной силы. Заимствуя силу отъ гальванической батареи, онъ производитъ всѣ дѣйствія статическаго электричества: заряжаетъ лейденскія банки съ быстротою и энергіею силой сильной электрической машины; даетъ искры болѣе тридцати центиметровъ длиною и т. д.

Снарядъ (фиг. 576) какъ и всякій индуктивный при-

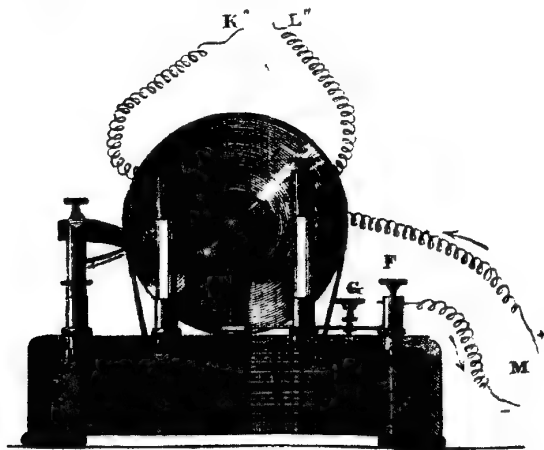


Фиг. 576.

боръ, дѣйствующій чрезъ замыканіе и прерываніе тока, состоитъ изъ двухъ проволокъ. Одна, внутренняя,

*) Знаменитый парижскій мастеръ, родомъ изъ Ганновера. Правильнѣе *Румкорфъ*, ибо имъ по имени пишется *Ruhmkorff*. За снарядъ получилъ премію Наполеона III въ 50000 франковъ.

сравнительно толстая и дѣлающая незначительное число оборотовъ (около 300) представляетъ собою индуктирующую катушку, внутри которой вложенъ пучекъ желѣзныхъ проволокъ для усиленія дѣйствія. Онъ помѣщается внутри изолирующаго цилиндра изъ твердаго каучука. Наружная, индуктивная проволока тонкая (около $\frac{1}{4}$ милл.), навита на изолирующій цилиндръ, дѣлаетъ до 30000 и болѣе оборотовъ и тщательно изолирована въ массѣ мастики. Полюсы гальванической батареи соединяются съ концами толстой проволоки. Прерываніе и замыканіе тока въ толстой проволоцѣ производится или чрезъ самопрерываніе, по системѣ молоточка, или помощью особаго отдѣльнаго прерывателя (такъ всегда бываетъ въ снарядахъ большихъ размѣровъ). Въ снарядѣ изображенномъ на фиг. 576 и 577 прерываніе производится молоточкомъ. Токъ входитъ (фиг. 577) отъ *M* въ



Фиг. 577.

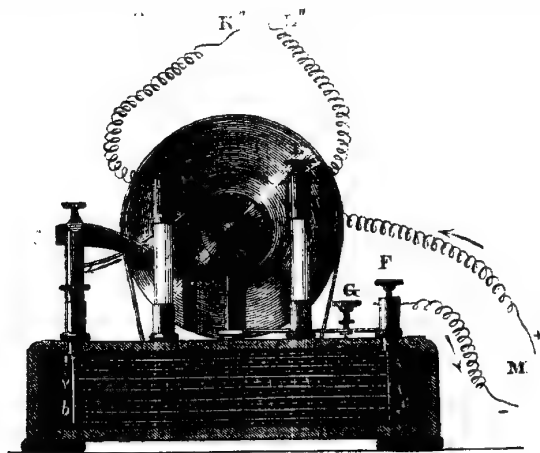
толстую проволоку; пробѣжавъ ея обороты онъ выходитъ сообщаясь съ ножкою *B*, проходитъ далѣе чрезъ желѣзный молоточекъ и наковальню *D* въ

ножку F и оттуда къ другому полюсу батареи. Но едва токъ установился,—желѣзные проволоки внутри индуктирующей катушки намагничиваются и конецъ ихъ O притягиваетъ желѣзный молоточекъ. Молоточекъ подымается съ наковальни, и чрезъ это при D происходитъ перерывъ тока, сопровождающійся искрою. Едва токъ прервался,—проволоки утрачиваютъ намагниченіе, и молоточекъ вновь опускается на наковальню, восстанавливая сообщеніе, за которымъ вновь слѣдуетъ намагниченіе, поднятіе молоточка прерывающее токъ и т. д. Быстроту перерывовъ можно регулировать помощію винтика G . Если проволоки K и L , идущія отъ столбиковъ K и L , къ которымъ проведены концы внѣшней тонкой проволоки снаряда, соединить между собою, то тонкая проволока вмѣстѣ съ проводниками K и L представить замкнутую цѣпь, въ которой, при каждомъ замыканіи тока въ толстой проволоцѣ, будетъ пробѣгать индуктивный обратный токъ, при каждомъ прерываніи—прямой.

Если между K и L оставить промежутокъ, то при замыканіи не замѣтимъ никакого явленія (обратный индуктивный токъ не довольно напряженъ чтобы побѣдить сопротивленіе слоя воздуха); но при прерываніи между концами произойдетъ искра порождаемая прямымъ индуктивнымъ токомъ и имѣющая видъ молніеобразнаго зигзага если промежутокъ довольно значителенъ (искра при сильномъ дѣйствіи бываетъ болѣе 30 центиметровъ длиною).

Если концы проволоки K и L близки между собою то искра имѣетъ видъ рѣзкой бѣлой струи свѣта окруженной широкимъ красноватымъ сіяніемъ. Это красноватое плямя по-винуется механическому дѣйствію потока воздуха и если дуть на него, сдувается въ одну сторону. Бѣлая полоса имѣетъ подобіе съ мгновеннымъ разрядомъ лейденской банки, свѣтлый ореолъ подобенъ дугѣ гальваническаго свѣта. Наибольшее количество электричества разряжается, повидимому, этимъ путемъ, но наибольшее напряженіе обнаруживаетъ та часть которая

Физо указалъ средство значительно усилить дѣйствіе снаряда присоединеніемъ къ толстой индуктирующей проволоцѣ конденсатора съ большою поверхностію, помѣщеннаго внутри деревянной доски.

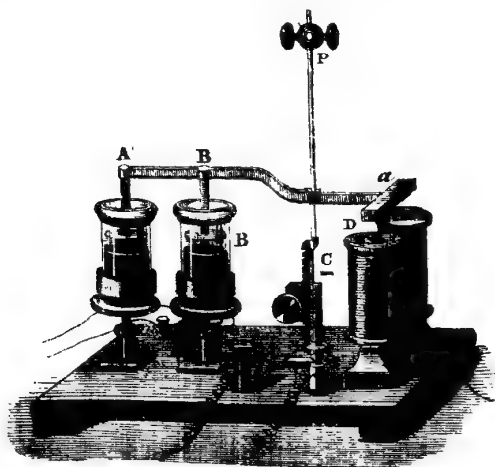


Фиг. 578.

служащей основаніемъ снаряда. Конденсаторъ состоитъ изъ многократно сложенной тафтяной полосу, обложенной съ двухъ сторонъ тонкими оловянными листами. Одна изъ обкладокъ находится въ сообщеніи со столбикомъ B несущимъ молоточекъ, другая со столбикомъ F соединеннымъ съ наковальнею; другими словами, обкладки конденсатора соединены съ индуктирующей цѣпью около мѣста гдѣ замыкается и прерывается ея токъ. Когда конденсаторъ въ дѣйствіи, искра, сопровождающая перерывъ тока и происходящая отъ экстратокъ индуктирующей проволоки, значительно уменьшается, ибо главная часть электричества которая соединилась бы при точкѣ D отводится въ конденсаторъ, который и заряжается, съ одной стороны положительнымъ, съ другой отрицательнымъ электричествомъ. Собравшись въ конденсаторъ,

эти электричества тотчас вновь соединяются, ибо обкладки чрезъ толстую проволоку и самую батарею находятся между собою въ проводящемъ сообщеніи. Разрядъ проходитъ въ направленіи противоположномъ направленію тока батареи и быстро разматываетъ пучокъ желѣзныхъ проволокъ внутренней катушки. Чрезъ это прямой индуктивный токъ (соотвѣтствующій прерыванію) дѣлается кратковременнѣе и потому напряженнѣе. Этимъ объясняется дѣйствіе конденсатора.

Въ большихъ снарядѣхъ Румкорфа употребляется отдѣльный прерыватель Фуко (фиг. 579) независимый отъ тока индукти-

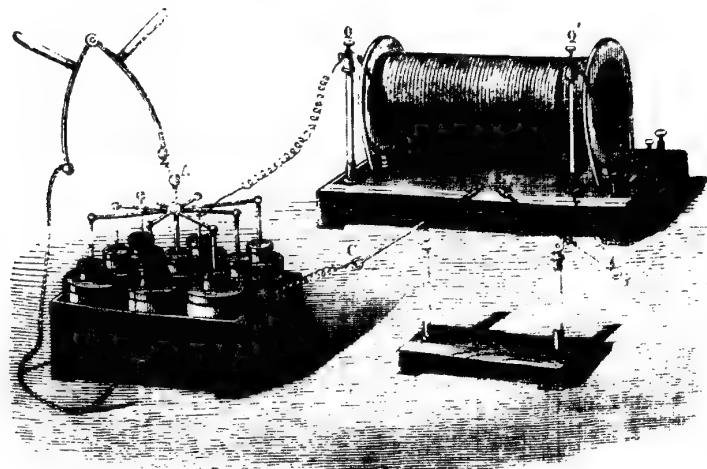


Фиг. 579.

рующей проволоки. Замыканіе и прерываніе производится чрезъ погруженіе металлическаго кончика *A* въ покрытую слоемъ алкоголя ртуть чашечки и выниманіе его изъ нея. При этомъ ртуть соединена съ однимъ полюсомъ батареи, стержень *ABC*, чрезъ индуктирующую бобину, съ другимъ полюсомъ. Еслибы мы рукою наклонили полоску магнаго желѣза *a* находящуюся на концѣ стержня *ABa* то *A* вышелъ бы изъ ртути, и токъ въ индуктирующей проволоки былъ бы прерванъ. Но предоставленная себѣ полоса *a*, вслѣдствіе упругости пружины *CP* снова поднялась бы, и кончикъ вновь опустился бы въ

ртуть чашечки, замыкая токъ. Въ снарядѣ полоса *a* опускается не рукою а притяженіемъ небольшого электромагнита *D*, въ который пропускается токъ отъ особо стоящихъ одного или двухъ гальваническихъ элементовъ, токъ которыхъ проходитъ чрезъ ртуть второй чашечки *B'* и опускающійся въ нее металлическій кончикъ. Какъ скоро замкнется токъ малой батареи, электромагнитъ *D* намагничивается, желѣзо *a* притягивается, металлические кончики какъ въ первой чашечкѣ такъ и въ чашечкѣ *B* выйдутъ изъ ртути. Чрезъ это какъ индуктирующій токъ, такъ и мѣстный токъ приводящій въ дѣйствіе электромагнитъ *D* прервутся. Но съ прекращеніемъ тока въ электромагнитъ *D*, онъ потеряетъ силу и полоса *a* подымется, погружая кончики *A* и *B* въ ртуть и слѣдовательно замыкая оба тока, какъ индуктирующій, такъ и токъ электромагнита *D* и т. д. Ртуть первой чашечки и стержень *ABC* соединены, кромѣ того съ конденсаторомъ чтобы уводить избытокъ. Грузъ *P* поднимающійся и опускающійся служитъ въ тому чтобы регулировать движеніе пружины *CP*.

Чтобы зарядить лейденскую банку или батарею Румкорфовымъ снарядомъ, должно полюсы *Q* и *Q'* (фиг. 580) индуктивной (тонкой) проволоки сообщить съ внутренней и вѣншей обкладками батареи, оста-

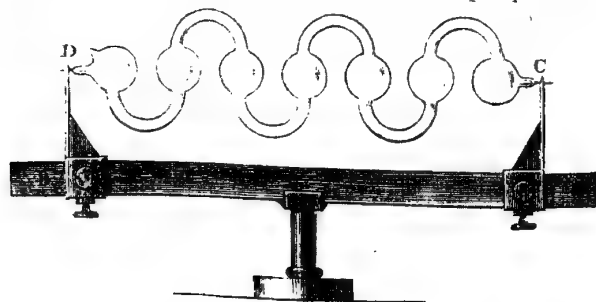


Фиг. 580.

визъ на пути одного изъ этихъ соединеній, на-
примѣръ при *DE*, перерывъ. Какъ скоро снарядъ при-
веденъ въ дѣйствіе, въ перерывѣ обнаруживается
искра прямого индуктивнаго тока, соответствующа-
го моментамъ прерыванія. Одна обкладка полу-
часть положительное, другая отрицательное электри-
чество; батарея быстро заряжается и помощью раз-
рядника можетъ быть разряжена обыкновеннымъ
способомъ.

Еслибы при *DE* не было перерыва, то оба тока, и прямой и
обратный, проникли бы въ батарею, и она не получила бы
постояннаго заряда. Но если, конецъ разрядника держать
въ близкомъ разстояніи отъ шарика *A*, то при *A* получается
непрерывно бьющая индуктивная искра, отличающаяся отъ
длинной искры бьющей въ промежуткѣ *DE* общаго
разрядника при непосредственномъ соединеніи концовъ *F*
и *C* съ полюсами *Q* и *Q'* тѣмъ что она значительно ко-
роче, но въ то же время гуще и энергичнѣе. Въ этомъ слу-
чаѣ электричества отъ полюсовъ *Q* и *Q'* не прямо соединяют-
ся чрезъ слой воздуха, а предварительно входятъ въ обкладки
банки.

Разрядъ Румкорфова снаряда чрезъ безвоздушное
пространство производитъ замѣчательныя явленія
электрическаго сіянія, болѣе напряженнаго чѣмъ отъ
обыкновенныхъ электрическихъ машинъ. Для опы-
товъ служатъ такъ-называемыя Гейсслеровы трубки
(фиг. 581), содержащія въ себѣ, въ крайне разряженномъ



Фиг. 581.

состояніи, воздухъ, разные газы или пары (напримѣръ,
спирта, эфира, сѣрнистаго углерода и т. д.).

Электрическое сіяніе въ Гейсслеровыхъ трубкахъ обыкновен-
но представляетъ многія поперечныя темныя полосы. Явленіе
именуется *стратификаціей* электрическаго свѣта; его причи-
ны еще не объяснены достаточно.

Полоса электрическаго сіянія въ пустотѣ можетъ быть раз-
сматриваема какъ свѣтящаяся вѣтвь электрическаго тока.
При надлежащемъ расположеніи опыта, магнитъ можетъ ока-
заться на нее притягательное, отталкивательное, вращательное
дѣйствіе какъ вообще на вѣтвь тока.

§ 401. Сѣверное сіяніе. По поводу опытовъ съ электри-
ческимъ сіяніемъ въ разряженныхъ газахъ упомянемъ о сѣ-
верномъ сіяніи, величественномъ явленіи несомнѣнно электри-
ческаго происхожденія. Гумбольдтъ такъ описываетъ различ-
ныя фазы этого явленія, когда оно обнаруживается въ пол-
номъ блескѣ.

„Глубоко на горизонтѣ, около того мѣста, гдѣ онъ пересѣ-
кается магнитнымъ меридіаномъ, небо, предъ тѣмъ свѣтлое,
начинаетъ помрачаться. Тутъ образуется постепенно какъ-бы
плотная туманная стѣна, понемногу поднимающаяся и дости-
гающая высоты 8 или 10 градусовъ.... Въ этой помраченной
части неба звѣзды виднѣются какъ сквозь густой дымъ.
Широкая и ясносвѣтящаяся дуга свѣта, сначала бѣлая,
потомъ желтая, обнимаетъ края темнаго сегмента... Дуга,
свѣта остается иногда цѣлыя часы въ безпрестанномъ бро-
женіи и колебаніи, принимая разнообразныя формы, преж-
де нежели вырвется изъ нея лучи и снопы лучей, и, извива-
ясь, поднимаются до зенита. Чѣмъ сильнѣе идутъ взрывы сѣ-
вернаго сіянія, тѣмъ живѣе играютъ въ немъ краски, переходя
отъ фіолетоваго и синеваго-бѣлаго цвѣта, чрезъ всѣ переливы,
до зеленаго и пурпуроваго. Точно также и въ обыкновенномъ,
возбужденномъ треніемъ, электричествѣ, искры тогда только
разноцвѣтно окрашиваются, когда послѣ большого напряженія
происходитъ сильный разрядъ. Огненные столбы, перемѣша-
нные съ черными, густому дыму подобными струями, поды-
маются то изъ одной точки свѣтлой дуги, то въ одно
время на многихъ противоположныхъ пунктахъ горизонта и
соединяются въ трепещущее, пламенное море, котораго вели-
колѣпіе не можетъ передать никакое изображеніе, ибо въ
каждое мгновеніе его свѣтящаяся волна измѣняетъ свой
видъ, принимая разнообразнѣйшія формы. Около пункта не-
беснаго свода, соответствующаго пересѣченію его съ продол-
женнымъ направлениемъ стрѣлки наклоненія, скопляются на-
конечъ лучи и образуютъ такъ-называемый *вѣнецъ сѣверна-*
го сіянія: онъ, представляя собою вершину *небеснаго шат-*
ра, обливаемаго его своимъ яркимъ блескомъ и тихо, безъ
волненій, льющимся свѣтомъ. Только въ рѣдкихъ случаяхъ
явленіе достигаетъ до полнаго образованія вѣнца: имъ

оно всегда приходит къ концу. Лучи становятся всегда вслѣдъ за этимъ рѣже, короче, менѣе раздѣченными. Въ концѣ и всѣ свѣтлыя лучи исчезаютъ. На цѣломъ небесномъ сводѣ виднѣются одни неправильно-разсѣянные, неподвижныя пятна, широкія, блѣдныя, почти пепельно-сѣровато свѣтящіяся; и они наконецъ исчезаютъ, но слѣды темнаго, дымообразнаго сегмента остаются еще въ глубинѣ горизонта.“

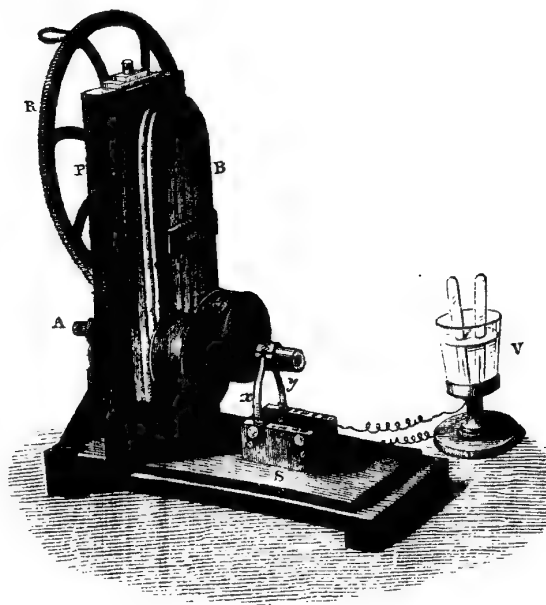
Явленіе объясняютъ соединеніемъ, въ околополярныхъ мѣстностяхъ, положительнаго электричества верхнихъ слоевъ атмосферы,—приносимаго экваторіальнымъ воздушнымъ потокомъ и доставляемаго, должно думать, испареніями тропическихъ морей,—съ отрицательнымъ электричествомъ земли. Соединеніе сопровождается сіяніемъ обнаруживающимся въ высшихъ раздѣченныхъ слояхъ, а, вѣроятно, отчасти и ближе къ землѣ, въ области гдѣ уже образуются облака. Разрядъ отъ мѣста своего образованія, кажущагося издали свѣтлою дугою сіянія, распространяется въ формѣ полосъ идущихъ въ пространствѣ параллельно стрѣлкѣ наклоненія какъ бы по линіямъ магнитной силы. Появленіе вѣнца есть дѣйствіе перспективы для наблюдателя надъ головою котораго полосы простираются, какъ бы сходясь въ удаленіи.

Два факта служатъ главнымъ подтвержденіемъ электрической теоріи сѣвернаго сіянія. Во-первыхъ, замѣченное еще въ прошломъ вѣкѣ возмущеніе магнитной стрѣлки во время сѣвернаго сіянія (стрѣлка находится въ состояніи качанія, отступая отъ магнитнаго меридіана). Отступленіе и качанія стрѣлки замѣчаются (Араго) не только въ тѣхъ мѣстностяхъ гдѣ наблюдается сіяніе, но часто на значительномъ удаленіи отъ мѣста явленія (сіяніе въ Швеціи, колебанія въ Парижѣ и т. под.). Во вторыхъ, прекращеніе правильнаго дѣйствія электрическихъ телеграфовъ вслѣдствіе того что въ проводкѣ оказывается токъ независимый отъ дѣйствующей батареи. Тотъ и другой фактъ объясняется, если припишемъ явленіе потока электричества, невидимо текущаго пока онъ проходитъ въ толщѣ земли и производящаго сіяніе при движеніи въ раздѣченныхъ слояхъ воздуха. Измѣненія въ положеніи стрѣлки представляютъ случай дѣйствія тока на магнитъ, какъ въ опытѣ Эрстеда; токъ телеграфной проволоки объясняется отвлекаемою въ эту проволоку вѣтвью земнаго тока.

Въ послѣдніе годы спектральный анализъ былъ приложенъ къ изученію свѣта сѣвернаго сіянія. Спектръ свѣта сѣвернаго сіянія, какъ оказалось, имѣетъ довольно яркую линію въ желтомъ свѣтѣ и нѣсколько болѣе широкихъ, но значительно менѣе яркихъ полосъ въ другихъ частяхъ спектра; онъ болѣе всего приближается къ спектру азота и повидимому представляетъ измѣненіе спектра воздуха въ зависимости отъ особыхъ условій въ особенности отъ низкой температуры) въ какихъ находится воздухъ въ высшихъ слояхъ.

Основателемъ электрической теоріи сѣвернаго сіянія считается Франелинъ. Одновременно съ нимъ въ срединѣ прошлаго столѣтія Кантонъ и Ломоносовъ, усматривая сходство между явленіемъ электрическаго свѣта въ безвоздушномъ пространствѣ и сѣвернымъ сіяніемъ, также пришли къ заключенію что сѣверное сіяніе есть электрическое явленіе. Франклинъ выразилъ свою гипотезу въ формѣ довольно подходящей къ нынѣ принятому ученію.

§ 402. Магнито-электрическія машины. Машина устроенная въ 1836 году англійскимъ мастеромъ Кларкомъ (Clarke), идо нынѣ употребляемая въ физическихъ кабинетахъ представляетъ примѣръ магнито-электрическихъ машинъ, то-есть снарядовъ въ которыхъ электрическій токъ возбуждается дѣйствіемъ магнита на движущуюся въ его сосѣдствѣ индуктивную bobину. Сильный подковообразный магнитъ (фиг. 582) помѣ-



Фиг. 582.

щается вертикально, двѣ укрѣпленныя на оси индуктивныя бобины вращаются предъ его полюсами, будучи приводимы въ быстрое движеніе колесомъ съ рукояткою. При каждомъ полуоборотѣ, какъ въ одной, такъ и въ другой бобинѣ, возбуждается индуктивный токъ вслѣдствія удаленія каждой изъ нихъ отъ одного изъ полюсовъ магнита и приближенія къ другому. Такъ какъ обѣ бобины образованы одною и тою же проволокой намотанною въ нихъ въ противоположномъ направленіи, то въ обѣихъ возбуждается общій индуктивный токъ опредѣленнаго направленія. Но чтобы токъ выходилъ изъ снаряда въ постоянномъ направленіи, ось оканчивается *коммутаторомъ*, состоящимъ изъ двухъ половинокъ раздѣленных непроводникомъ и сообщающихся одна съ однимъ концомъ индуктивной проволоки, другая съ другимъ. Пружинъ x и y прикасаются при каждомъ полуоборотѣ попеременно къ одной и другой половинкѣ, а такъ какъ перемѣна прикосновенія совпадаетъ съ перемѣною направленія тока въ бобинахъ, то пружины x и y проводятъ токъ въ соединяющій ихъ проводникъ всегда въ одномъ и томъ же направленіи. Если провести проволоку къ вольтметру, то можно разложить воду. Если окончить ихъ цилиндрами, которые наблюдатель беретъ въ руки, то испытываются сильныя сотрясенія. Можно нагрѣвать проволоки и т. д. Для разныхъ цѣлей бобины берутся или изъ многихъ оборотовъ тонкой проволоки или изъ сравнительно малаго числа оборотовъ болѣе толстой проволоки.

Магнито-электрискія машины представляютъ собою случай преобразованія механической работы въ электрискій токъ; а такъ какъ механическую работу можно, помощью паровой машины, произвести за сравнительно дешевую цѣну, то машины эти суть наиболѣе дешевый источникъ электрической силы. При распространеніи употребленія электрическаго свѣта (особенно для маяковъ) успія многихъ изобрѣтателей направилась къ тому чтобы устроить магнито-электрискія машины большихъ размѣровъ, способныя давать токъ не усту-

пающій въ силѣ батареи изъ шестидесяти, семидесяти и болѣе элементовъ Бунзена. Большая машина французской фабрикаціи, по системѣ бельгійскаго физика Поллета, основана на томъ же принципѣ какъ машина Кларка. Новыя машины Уильда, Сименса, Ледда основаны на иныхъ началахъ, интересныхъ и въ теоретическомъ отношеніи.

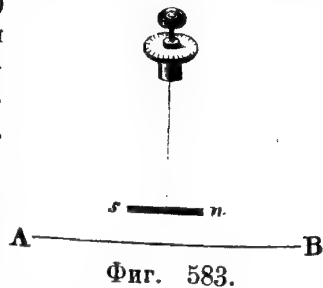
Важное усовершенствованіе въ устройствѣ индуктивныхъ бобинъ для магнито-электрическихъ машинъ было сдѣлано въ послѣдніе годы Сименсомъ. Ядро бобины Сименса дѣлается изъ цилиндра мягкаго желѣза, изъ котораго часть вырѣзана такъ что онъ принимаетъ форму двухъ цилиндрическихъ блахъ соединенныхъ перегородкою. На эту перегородку вдоль оси намотывается индуктивная проволока такъ что бобина получаетъ вновь цилиндрическую форму. Бобина помѣщается между полюсами ряда магнитовъ, такъ что совокупность ихъ представляетъ длинную полярную поверхность въ близкомъ разстояніи отъ бобины, которой можетъ быть дана значительная скорость.

Такия бобины употребляются въ магнито-электрической машинѣ Уильда (Wilde) и въ *динамо-электрической машинѣ* Ледда. Машина Уильда состоитъ изъ ряда стальныхъ магнитовъ между полюсами которыхъ съ значительною скоростью вращается бобина Сименса. Индуктивный токъ возбуждающійся въ этой бобинѣ проводится въ проволоку сильнаго электромагнита изъ двухъ большихъ досокъ мягкаго желѣза. Электро-магнитъ сильно намагничивается и въ свою очередь возбуждаетъ индуктивный токъ въ другой большой бобинѣ Сименса, движущейся между его полюсами. Токъ этой бобины пріобрѣтаетъ огромную силу, такъ что снарядъ можетъ служить для произведенія яркаго электрическаго свѣта.

Въ машинѣ Ледда вовсе не употребляется искусственныхъ магнитовъ. Небольшаго остаточнаго магнетизма желѣза разъ намагниченнаго достаточно чтобы произвести дѣйствіе. Снарядъ представляетъ собою электро-магнитъ получающій магнитную силу не отъ гальваническаго тока, а отъ индуктивнаго дѣйствія слабаго остаточнаго магнетизма желѣзныхъ досокъ электро-магнита чрезъ проволоку котораго хоть разъ былъ пропущенъ токъ) на индуктивную катушку вращающуюся между его полюсами. Снарядъ устроенъ такъ что индуктивный токъ, въ началѣ очень слабый, возбужденный въ бобинѣ, входитъ въ проволоку породившаго его электро-магнита и усиливаетъ магнитность его желѣза. Это усиленіе въ свою очередь извѣстъ послѣдствіемъ усиленіе индуктивнаго тока ведущее за собою новое усиленіе магнита и т. д., такъ что снарядъ чрезъ нѣсколько времени становится очень сильнымъ электро-магнитомъ, дѣйствіемъ котораго и возбуждается сильный индуктивный токъ во второй катушкѣ Сименса. Этими токомъ пользуются для произведенія электрическаго свѣта и другихъ дѣйствій сильнаго тока.

VII. Общая теория электрического тока.

§ 403. Понятіе о силѣ тока. Сила или напряженіе тока проходящаго чрезъ какой-нибудь проводникъ измѣряется его дѣйствіемъ на магнитную стрѣлку помещенную въ сосѣдствѣ этого проводника. Если сила съ какою токъ стремится вывести стрѣлку изъ ея положенія равновѣсія будетъ вдвое болѣе, то сила тока считается вдвое болѣе. Германскій ученый Омъ (1826г.) для измѣренія величины дѣйствія тока на стрѣлку пользовался приѣмомъ Кулона: помѣстивъ проволоку чрезъ которую проходитъ токъ, параллельно магнитному меридіану, онъ вѣшалъ надъ нею магнитную стрѣлку (фиг. 583) на нити; токъ стремился отклонить стрѣлку, но вращая головку, Омъ закручивалъ нить до тѣхъ поръ пока стрѣлка оставалась въ положеніи равновѣсія не смотря на дѣйствія тока. Дѣйствіе тока уравнивалось, слѣдовательно,

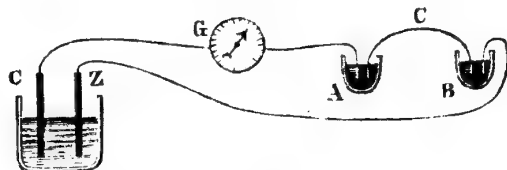


крученіемъ нити, а изъ изслѣдованій Кулона извѣстно что сила крученія пропорціональна углу крученія, такъ что если въ одномъ случаѣ,—дабы удержать стрѣлку въ меридіанѣ не смотря на дѣйствіе тока—головку надо повернуть на 450° (то-есть полный оборотъ и еще 90°), а въ другомъ на 225° , то значить сила гонящая стрѣлку и уравнивающаяся крученіемъ нити во второмъ случаѣ вдвое менѣе чѣмъ въ первомъ. О другихъ болѣе удобныхъ способахъ измѣренія дѣйствія тока будетъ сказано въ слѣдующемъ отдѣлѣ. Согласно изслѣдованіямъ Фарадея и другихъ

ученыхъ, дѣйствіе тока на стрѣлку (§ 372), а слѣд. и сила тока пропорціональны количеству электричества проходящаго въ цѣпи въ данное время.

Изслѣдуя силу тока въ разныхъ пунктахъ цѣпи, Омъ убѣдился что сила эта одинакова на всемъ протяженіи цѣпи. Отсюда слѣдуетъ что, при постоянномъ токъ, чрезъ каждое сѣченіе цѣпи проходитъ въ данное время одинакое количество электричества.

§ 404. Понятіе о сопротивленіи проводника. Слѣдующій опытъ, первоначальная мысль котораго принадлежитъ Ому, позволяетъ составить ясное представленіе о томъ что именуется *сопротивленіемъ* проводника. Отъ полюсовъ *C* и *Z* гальваническаго элемента проведемъ проволоку и опустимъ ихъ концами въ чашечки со ртутью *A* и *B*. Надъ одной изъ проволокъ помѣстимъ магнитную стрѣлку или, какъ показано на фиг. 584, введемъ въ цѣпь гальванометръ *G*.



Фиг. 584.

Пока чашечки не соединены проводникомъ, стрѣлка остается въ покоѣ. Но соединимъ чашечки помощью короткой и толстой проволоки *C*. Стрѣлка отклонится. Если замѣнимъ короткую проволоку, другою болѣе длинною, то замѣтимъ что отклоненіе стрѣлки а слѣдовательно и сила тока будетъ менѣе. Ослабленіе будетъ тѣмъ значительнѣе чѣмъ длиннѣе проволока соединяющая чашечки *A* и *B*. Если проволоку, которая, допустимъ, была изъ серебра, замѣнимъ другою, той же длины, но изъ иного матеріала, напримѣръ изъ жѣлѣза, то ослабленіе отъ второй проволоки будетъ

иное чѣмъ отъ первой: отъ желѣзной будетъ значительно чѣмъ отъ серебряной той же длины. Если, при той же длинѣ, возьмемъ проволоку болѣе тонкую, то послѣдняя ослабитъ токъ болѣе чѣмъ толстая. Описанныя явленія сводятся къ общему началу, если допустимъ что каждый проводникъ введенный въ цѣпь вноситъ съ собою нѣкоторое *сопротивленіе* движенію электричества и что сопротивленіе это тѣмъ значительно чѣмъ тоньше проволока; далѣе что сопротивленіе это измѣняется смотря по природѣ проводника: желѣзо, напримѣръ, оказываетъ болѣе сопротивленія чѣмъ серебро. Вообще чѣмъ лучше тѣло проводить электричество тѣмъ менѣе его сопротивленіе.

Условимся считать за *единицу сопротивленія* сопротивление какой-нибудь определенной проволоки (напримѣръ мѣдной цилиндрической проволоки въ метръ длины и миллиметръ толщиною*). Тогда сопротивление такой же проволоки въ два, три, четыре и т. д. метра длины будетъ выражаться числами два, три, четыре и т. д., такъ какъ каждый метръ вноситъ свое сопротивленіе, равное сопротивленію каждаго другаго метра. Сопротивленіе проволоки изъ того же матеріала но другой толщины также легко выразить, взявъ въ соображеніе слѣдующее наблюденіе Ома. Взявъ двѣ проволоки изъ того же вещества, но разной длины и толщины и укорачивая ту которая болѣе ослабляла токъ до тѣхъ поръ пока онѣ производили одинаковое ослабленіе тока, Омъ нашелъ что двѣ такіа проволоки оказываютъ одинаковое сопротивленіе если *длины ихъ относятся между собою какъ площади ихъ сѣченій*: во сколько разъ сопротивленіе увеличивается отъ уве-

*) Весьма употребительная нынѣ *единица сопротивленія* Сименса есть сопротивленіе ртутнаго цилиндра въ метръ длины, при миллиметрѣ площади сѣченія при 0°. Единица Сименса равняется 0,9564 британской единицы сопротивленія въ абсолютной мѣрѣ*.

личенія длины проволоки, во столько разъ оно уменьшается отъ увеличенія площади ея сѣченія.

Потому если вмѣсто проволоки площадь сѣченія которой есть единица, возьмемъ проволоку площадь сѣченія которой есть ω , то длина x этой послѣдней оказывающая сопротивление равное единицѣ найдется изъ отношенія: $x : 1 = \omega : 1$. Отсюда $x = \omega$, то-есть выражается тѣмъ же числомъ какъ сѣченіе. Если длина ω проволоки, сѣченіе которой есть ω , оказываетъ сопротивление равное единицѣ, то длина l той же проволоки будетъ оказывать сопротивление во столько разъ большее единицы во сколько число l больше числа ω . Оно будетъ слѣдовательно равно $\frac{l}{\omega}$.

Взявъ далѣе двѣ проволоки изъ *разныхъ* веществъ равнаго сѣченія, но разной длины. Омъ укорачивалъ ту которая обнаруживала болѣе сопротивленія до тѣхъ поръ пока ихъ ослабляющее дѣйствіе было одинаково и онѣ оказывали, слѣдовательно, равное сопротивление. Этимъ способомъ можно опредѣлять сравнительное сопротивленіе разныхъ металловъ. Такъ, при томъ же сѣченіи, 1000 единицъ длины серебра оказываютъ такое же сопротивленіе какъ 940 мѣди, 105 платины, 16 ртуту, 12 висмута и т. д. Назвавъ отношеніе длины проволоки даннаго вещества къ длинѣ проволоки равнаго сопротивленія, но изъ матеріала принятаго за нормальный, буквою k , можемъ сопротивленіе каждой проволоки выразить чрезъ сопротивленіе принятой за единицу. Согласно такому обозначенію, если l есть длина данной проволоки то длина x нормальной проволоки равнаго сопротивленія найдется изъ отношенія $\frac{l}{x} = k$ и будетъ $x = \frac{l}{k}$. Эта величина разила бы въ принятыхъ единицахъ, сопротивленіе про-

волокни l если бы ее сечение было равно единице. Если же сечение ее есть ω , то, согласно предыдущему, должно величину $\frac{l}{k}$ раздѣлить еще на ω . Получимъ $\frac{l}{k\omega}$

Величина эта, выражающая длину нормальной проволоки оказывающую тоже сопротивление какъ данная проволока l именуется также *приведеннымъ сопротивленіемъ*. Назовемъ ее буквою λ . Имѣемъ

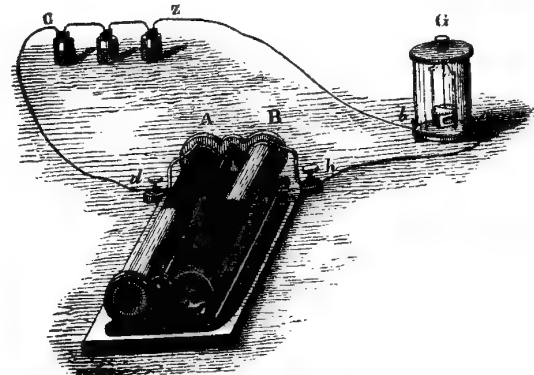
$$\lambda = \frac{l}{k\omega}, \text{ откуда } \frac{1}{\lambda} = \frac{k}{l}.$$

Величина $\frac{1}{\lambda}$ обратно пропорціональная сопротивленію проволоки есть *мѣра ее электропроводности*. Эта величина тѣмъ болѣе чѣмъ толще и короче проволока и чѣмъ значительнѣе множитель k , именуемый *коэффициентомъ электропроводности*. Наоборотъ, *сопротивленіе* прямо пропорціонально длинѣ проволоки и обратно пропорціонально ее сеченію и коэффициенту электропроводности матеріала изъ какаго она сдѣлана.

Мы говорили о проволокахъ; приведенныя разсужденія имѣютъ приложение и вообще къ проводникамъ. Каждый проводникъ составляющій часть цѣпи вноситъ свойственное ему сопротивление, зависящее отъ его длины, толщины и матеріала. Сопротивленіе оказываютъ какъ твердыя такъ и жидкія части цѣпи; какъ проводники соединяющіе полюсы, такъ и проводники изъ коихъ состоитъ самая батарея. Последнее сопротивление именуется *внутреннимъ сопротивленіемъ* элемента или батареи. Въ случаѣ гидро-электрической батареи внутреннее сопротивленіе ее элементовъ имѣетъ значительную величину, такъ какъ

въ составъ ихъ входятъ жидкости, а жидкости вообще оказываютъ сопротивленіе несравненно большее чѣмъ металлы. Внутреннее сопротивление термо-электрическихъ элементовъ незначительно.

Для сравнительнаго опредѣленія сопротивленій употребляютъ снаряды именуемые *реостатами*. На фиг. 585 изображенъ *рео-*



Фиг. 585.

статъ Уитстона. Онъ состоитъ изъ двухъ цилиндровъ, одного металлическаго, другаго непроводящаго. На цилиндры намотана металлическая проволока (непокрытая изолирующимъ слоемъ) которую, помощью рукоятокъ приводящихъ во вращеніе тотъ или другой цилиндръ, можно сматывать съ одного изъ этихъ цилиндровъ на другой. При этомъ проволока, наматываясь на непроводящій цилиндръ, облекаетъ его такъ что одинъ ее оборотъ не касается другаго (для этого на цилиндръ сдѣланы надрѣзы), тотъ долженъ пройти по каждому изъ оборотовъ. Проволока облекающая металлическій цилиндръ составляетъ съ нимъ какъ бы одно металлическое тѣло, и входящій въ нее токъ распространяется чрезъ всю толщу цилиндра, представляющаго столь ничтожное сопротивленіе что имъ можно пренебрегать. При опредѣленіи сопротивленія реостата должно, слѣдовательно, принимать въ разчетъ лишь длину проволоки намотанной на непроводящій цилиндръ: всѣ обороты сматанныя на металлическій цилиндръ не имѣютъ значенія.

Въ слѣдующей таблицѣ показаны сравнительныя величины сопротивленій разныхъ металловъ; причемъ сопротивление серебра принято за единицу.

Сопротивленіе металловъ:

Серебро	1
Мѣдь обькн. прод.	отъ 1,43 до 2,50
Золото	1,28
Желѣзо	6,67
Свинецъ	12,05
Платина	14,49
Ртуть	62,5

Сопротивленіе жидкостей несравненно значительнѣе сопротивленія металловъ. Сопротивленіе воды съ сѣрной кислотой (на 9 объемовъ воды 1 объемъ кислоты) болѣе чѣмъ въ миллионъ разъ превосходитъ сопротивленіе серебра; азотной кислоты въ 900 тысячъ разъ; мѣднаго купороса раствореннаго въ водѣ—отъ 6 до 14 миллионныхъ.

Сопротивленіе металловъ увеличивается съ повышеніемъ температуры (холодные металлы слѣдов. лучше проводятъ электричество чѣмъ теплые). Сопротивленіе жидкостей, напротивъ того, съ нагреваніемъ уменьшается; теплая жидкость лучше проводитъ чѣмъ холодная.

Внутреннее сопротивленіе элемента Даниеля, при тѣхъ же размѣрахъ, болѣе, внутренняго сопротивленія элемента Грова или элемента Бунзена. Внутреннее сопротивленіе элемента Даниеля среднихъ размѣровъ равняется сопротивленію метровъ 20 или 30 мѣдной проволоки въ миллиметръ толщиною; Бунзена менѣе: метровъ, напримѣръ, десять.

§ 405. Понятіе объ электродвижущей силѣ. Выше было уже сказано, что два разнородные прикасающіеся проводника обыкновенно, въ большей или меньшей степени, взаимн оэлектризуются, причемъ—если оба изолированы,—одинъ приобретаетъ избытокъ положительнаго, другой избытокъ отрицательнаго электричества. Причина, производящая это явленіе именуется, какъ уже было сказано, *электродвижущей силою*. Въ гальваническомъ элементѣ его *электродвижущая сила* (точнѣе: совокупность дѣйствующихъ въ немъ электродвижущихъ силъ) есть причина электрическаго напряженія, обнаруживающагося на его полюсахъ когда онъ не замкнутъ. Разность этихъ напряженій

и есть мѣра электродвижущей силы элемента, которая въ разныхъ элементахъ бываетъ различна. Общая электродвижущая сила батареи происходитъ отъ совокупнаго дѣйствія электродвижущихъ силъ ея элементовъ. Она пропорціональна числу соединенныхъ въ батарею элементовъ, такъ какъ, согласно показанію опыта, напряженіе на полюсахъ незамкнутой батареи пропорціонально числу элементовъ. Электродвижущая сила элемента Даниеля почти вдвое менѣе электродвижущей силы элемента Грова. Сила элемента Бунзена не многимъ меньше силы элемента Грова.

§ 406. Зависимость силы тока отъ электродвижущей силы и сопротивленія цѣпи, открытая Омомъ. Омъ *) на основаніи своихъ опытовъ вывелъ законъ чрезвычайной важности, называемый по его имени *закономъ Ома*. Именно, Омъ доказалъ что *сила тока прямо пропорціональна электродвижущей силѣ и обратно пропорціональна сопротивленію цѣпи*. Если назовемъ силу тока буквою I , сопротивленіе буквою R , величину пропорціональную общей *электродвижущей*

*) Омъ (Ohm) родился въ Эрлангенѣ въ 1787 году, сынъ слесаря. Его отецъ, по своему состоянію весьма образованный человѣкъ, выбралъ для сына, по совѣту одного математика, учительскую карьеру. Но Омъ не былъ счастливъ на мѣста и до тѣхъ поръ не получилъ мѣсто учителя въ иезуитской коллегіи въ Кельнѣ, жилъ въ большой бѣдности. Въ 1827 г. издалъ свое, въ послѣдствіи сдѣлавшееся знаменитымъ, сочиненіе *Теоорія гальванической цѣпи*. Сочиненіе это не было замѣчено и оцѣнено по достоинству; оскорбительный пріемъ въ министерствѣ въ Берлинѣ побудилъ Ома даже отказаться отъ мѣста въ Кельнѣ, и онъ семь лѣтъ опять жилъ въ самомъ стѣсненномъ положеніи. Въ 1833 г. баварское правительство дало ему мѣсто профессора въ Политехнической школѣ въ Нюрнбергѣ. Въ 1841 году Лондонское Королевское Общество присудило ему медаль Коплея. Это имѣло большое значеніе для репутаціи Ома при знаннаго, наконецъ, въ ряду первыхъ физиковъ Германіи. Въ 1849 г. Омъ переселился въ Мюнхенъ консерваторомъ физическихъ коллекцій, а въ 1852 г. назначенъ профессоромъ тамошняго университета. Умеръ въ 1854 году. Прибавимъ что въ

силъ элемента или батареи буквою E , то законъ Ома выразится формулою

$$I = \frac{E}{R}$$

Сопротивленіе R есть сумма сопротивленій $r + r' + r'' \dots$ различныхъ частей составляющихъ цѣпь, причемъ каждое предполагается выраженнымъ опредѣленною длиною проволоки принятой за нормальную. Такимъ образомъ теоретически цѣпь можно представлять себѣ какъ кольцо изъ нормальной проволоки, въ которомъ, вслѣдствіе дѣйствія электродвижущихъ силъ, движутся электрическія массы, причемъ, въ случаѣ постоянного тока, чрезъ каждое сѣченіе цѣпи проходитъ въ данное время равное количество электричества.

Омъ открылъ свой законъ слѣдующимъ путемъ. Первые опыты, по способу указанному въ § 403, онъ производилъ съ гальваническимъ элементомъ изъ мѣди и цинка, опущенныхъ въ воду съ сѣрною кислотою, но вслѣдствіе непостоянства талого элемента, отказался отъ надежды найти этимъ путемъ зависимость силы тока отъ проводимости частей цѣпи. „Потому, прибавляетъ Омъ, я прибѣгъ къ термо-электрической цѣпи, на постоянство которой указывалъ мнѣ г. Поггендорфъ.“ Омъ составилъ термо-электрической элементъ изъ согнутаго подъ прямымъ угломъ куска висмута, концы котораго винтами скрѣплялись съ мѣдными полосками. Одинъ конецъ элемента окружался кипящею водою, другой обдавался тающимъ льдомъ. Отъ полюсовъ шли проволоки, опускавшіяся въ чашечки со ртутью; чрезъ ихъ соединеніе, помощію проволоки разной длины, происходило замыканіе тока. Сила тока опредѣлялась, какъ указано въ § 403; дѣйствіемъ на магнитную стрѣлку, крученіемъ нити удерживаемую, вопреки гонящей силѣ тока, въ магнитномъ меридіанѣ. Мѣдныя проволоки, какими соединялись чашечки со ртутью, были послѣдовательно въ 2, 4, 6, 10, 18, 34, 66, 130 дюймовъ длиною ($\frac{1}{8}$ линіи толщиною). Результатъ пяти рядовъ опытовъ означенъ въ слѣдующей таблицѣ:

1831 году германскій ученый Фехнеръ повѣрилъ законъ Ома помощію тщательныхъ опытовъ надъ гидро-электрическими элементами. Онъ пользовался элементами непостоянными, что много увеличивало трудность изслѣдованія. Наконецъ, французскій ученый Пулье, не зная о трудахъ Ома и изучая въ тридцатыхъ годахъ термо-электрическіе и гидро-электрическіе постоянные элементы (Даниеля), пришелъ къ тѣмъ же выводамъ какъ Омъ.

Длина введенной проволоки.	Сила тока измѣряемая угломъ крученія.				
	I	II	III	IV	V
2 дюйма	326 $\frac{1}{2}$	341 $\frac{1}{2}$	307	305 $\frac{1}{2}$	305
4 "	300 $\frac{1}{2}$	287	284	281 $\frac{1}{2}$	282
6 "	277 $\frac{1}{2}$	267	263 $\frac{1}{2}$	259	258 $\frac{1}{2}$
10 "	238 $\frac{1}{2}$	230 $\frac{1}{2}$	226 $\frac{1}{2}$	224	223 $\frac{1}{2}$
18 "	190 $\frac{1}{2}$	183 $\frac{1}{2}$	181	178 $\frac{1}{2}$	178
34 "	134 $\frac{1}{2}$	129 $\frac{1}{2}$	128 $\frac{1}{2}$	124 $\frac{1}{2}$	124 $\frac{1}{2}$
66 "	83 $\frac{1}{2}$	80	79	79	78
130 "	48 $\frac{1}{2}$	46	44 $\frac{1}{2}$	44 $\frac{1}{2}$	44

„Эти числа, говоритъ Омъ, весьма удовлетворительно выражаются уравненіемъ

$$I = \frac{a}{b+x}$$

гдѣ I есть сила тока измѣряемая магнитнымъ дѣйствіемъ, x длина (введенная въ цѣпь) проводника; a и b постоянныя величины, зависящія отъ электродвижущей силы и отъ сопротивленія остальныхъ частей цѣпи. Если принять (для опытовъ) что $b = 20$, (во всѣхъ пяти рядахъ опытовъ); и что a въ первомъ рядѣ равняется 7285, во второмъ 6965, третьемъ 6885, четвертомъ 6800 и пятомъ 6800, то вычисленіе произведенное по приведенной формулѣ даетъ слѣдующія числа для силы тока;

Длина проволоки.	Сила тока				
	I	II	III	IV	V
2 дюйма	328	313	309 $\frac{1}{2}$	305 $\frac{1}{2}$	305 $\frac{1}{2}$
4 "	300 $\frac{1}{2}$	287 $\frac{1}{2}$	284	280 $\frac{1}{2}$	280 $\frac{1}{2}$
6 "	277 $\frac{1}{2}$	265 $\frac{1}{2}$	262 $\frac{1}{2}$	259	259
10 "	240 $\frac{1}{2}$	230 $\frac{1}{2}$	228	224 $\frac{1}{2}$	224 $\frac{1}{2}$
18 "	190 $\frac{1}{2}$	182	180	177 $\frac{1}{2}$	177 $\frac{1}{2}$
34 "	134 $\frac{1}{2}$	128 $\frac{1}{2}$	127	125 $\frac{1}{2}$	125 $\frac{1}{2}$
66 "	84 $\frac{1}{2}$	80 $\frac{1}{2}$	79 $\frac{1}{2}$	79	79
130 "	48 $\frac{1}{2}$	46 $\frac{1}{2}$	45 $\frac{1}{2}$	45	45

Если сравнимъ эти величины, полученныя вычисленіемъ, съ полученными путемъ опыта, то окажется самая незначительная разница, въ предѣлахъ какія можно ожидать отъ подобнаго рода опытовъ... Чтобы еще болѣе повѣрить законъ, Омъ замѣнилъ проволоки служившія для опытовъ другими иной толщины (0.3 линіи), изъ латуни и длиною въ 2, 4, 8, 16 дюймовъ. Введенныя въ цѣпь проволоки эти дали силу тока (измѣряемую крученіемъ) 111 $\frac{1}{2}$, 64 $\frac{1}{2}$, 37, 19 $\frac{1}{2}$, тогда какъ введенная въ цѣпь первая проволока предыдущихъ опытовъ обнаруживала

силу 305. Принявъ для коэффициента b предыдущую его величину, для коэффициента a величину соответствующую ряду гдѣ сила при введеніи мѣдной проволоки № 1 была 305, получимъ результаты вычисленія согласные съ данными опыта, если будемъ считать сопротивление одного дюйма сказанной латунной проволоки равносильнымъ сопротивленію $20\frac{1}{2}$ дюймовъ мѣдной. Такъ какъ величина b , зависящая отъ постоянной части цѣпи, сама потому постоянна во всѣхъ опытахъ и складается съ длиною x , выражающей сопротивление данной проволоки какъ однородная величина съ однородною, то она очевидно, есть *сопротивленіе* элемента и его постоянныхъ соединеній. Сумма $b+x$ есть полное сопротивление цѣпи. И такъ: *сила тока обратно пропорціональна сопротивленію цѣпи.*

Омъ показалъ далѣе что величина a зависитъ отъ электродвижущей силы элемента. Такъ, поддерживая одинъ конецъ элемента при 0° , другой же оставляя при комнатной температурѣ ($71\frac{1}{2}^\circ \text{P}$) и вводя проволоки въ 2, 4, 6, 10, 18, 34, 66, 130 дюймовъ, Омъ получилъ для силы тока числа 27, 25, $23\frac{1}{2}$, 20, $15\frac{1}{2}$, $10\frac{3}{4}$, $6\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$. Сохраняя предыдущую величину $b=20\frac{1}{2}$.

Омъ опредѣлилъ a такъ чтобы $\frac{a}{22\frac{1}{2}} = 27$. Получается $a=590\frac{3}{4}$.

Предыдущая формула, если вставить въ нее указанные величины a и b , весьма точно удовлетворяетъ даннымъ наблюденія. Видимъ слѣд. что a уменьшилось болѣе чѣмъ въ 10 разъ, тогда какъ b осталось безъ перемѣны. Этимъ подтверждается что b зависитъ отъ неизмѣняющейся части цѣпи, а a отъ электродвижущей силы, которая, какъ надо заключить изъ тѣхъ же опытовъ, пропорціональна разности температуръ въ мѣстахъ прикосновенія дѣйствующихъ металловъ.

§ 407. Приложение закона Ома къ случаю гальванической батареи. Имѣемъ n элементовъ которые соединимъ въ одну батарею, (цинкъ перваго съ улемъ или мѣдью втораго, цинкъ втораго съ углемъ или мѣдью третьяго и т. д.). Какова будетъ сила тока, если полюсы батареи соединимъ проводникомъ сопротивленіе котораго означимъ буквою r ? Пусть электродвижущая сила каждаго элемента есть E ; внутреннее сопротивление каждаго элемента R . Если бы мы имѣли одинъ элементъ замкнутый проводникомъ котораго сопротивленіе есть r , то напряжение тока i было бы

$$i = \frac{E}{R+r}.$$

Если r очень мало сравнительно съ R , то можно принять

$i = \frac{E}{R}$. Если, напротивъ, R очень мало сравнительно съ r .

то $i = \frac{E}{r}$.

Въ случаѣ батареи общая электродвижущая сила пропорциональна числу элементовъ и есть nE если число элементовъ есть n . Общее сопротивление батареи будетъ также сумма сопротивленій отдѣльныхъ элементовъ, слѣдовательно nR . Напряжение i тока выразится, слѣдовательно, формулою

$$i = \frac{nE}{nR+r}.$$

Формула это ведетъ къ важнымъ заключеніямъ. Допустимъ, напримѣръ, что замыкающее цѣпь сопротивление r очень мало: батарея замкнута толстою и короткою проволокою. Тогда величиною r можно пренебречь сравнительно съ величиною nR , и напряжение выразится

$$i = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R}.$$

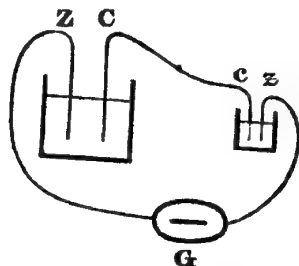
то-есть будетъ то самое какое имѣли бы еслибы вмѣсто батареи взяли одинъ элементъ. Такимъ образомъ, въ случаѣ соединительнаго проводника малаго сопротивленія, нѣтъ выгоды увеличивать число элементовъ. Но если, наоборотъ, r имѣемъ очень значительную величину, то изъ формулы видно что увеличеніе числа элементовъ имѣетъ прямое вліяніе на возрастаніе силы тока. Въ случаѣ еслибы r было такъ велико что предъ нимъ можно было бы пренебречь величиною nR , напряжение тока было бы

$$i = \frac{nE}{r},$$

то-есть въ n разъ болѣе чѣмъ въ случаѣ одного элемента. Итакъ, если соединительный проводникъ имѣетъ значительное сопротивление, то для полученія сильнаго тока должно брать значительное число элементовъ. Такъ бываетъ, напримѣръ, если надо разлагать воду, производить электрическій свѣтъ (въ послѣднемъ случаѣ токъ долженъ пройти чрезъ дурно проводящій газообразный слой раскаленныхъ частицъ образующихъ дугу электрическаго свѣта).

§ 408. Приложение закона Ома къ случаю нѣсколькихъ элементовъ соединенныхъ въ одинъ. Соединимъ n элементовъ не разномѣнными полюсами, какъ обыкновенно, но одноименными, то-есть всѣ цинки соединимъ между собою и всѣ угли между собою. Получится какъ бы одна банка большихъ размѣровъ, которой цинкъ и уголь въ n разъ болѣе размѣрами цинка и угля одного элемента. Какъ велико будетъ напряжение тока, если полюсы такой банки соединимъ проводникомъ сопротивленіе котораго есть r ? Слѣдующій опытъ доказываетъ

что увеличение размѣровъ, элемента не увеличиваетъ его электродвижущей силы. Соединимъ въ одну цѣпь (фиг. 586) элементъ большихъ размѣровъ и элементъ, изъ тѣхъ же ма-



Фиг. 586.

териаловъ, но малыхъ размѣровъ (вмѣсто одного элемента большихъ размѣровъ можно взять соединеніе нѣсколькихъ малыхъ, которыхъ цинки, какъ сказано, соединены въ одну поверхность, углы также) и притомъ такъ чтобы элементы эти дѣйствовали одинъ противъ другаго: для этого они должны быть соединены одноименными полюсами. Стрѣлка гальванометра не отклонится, доказывая что малый уничтожаетъ дѣйствіе большаго. По закону Ома напряженіе тока въ цѣпи, изъ двухъ элементовъ (которыхъ электродвижущія силы суть E и E' , сопротивленія R и R') дѣйствующихъ одинъ противъ другаго будетъ (означивъ буквою r сопротивленіе соединительной проволоки вмѣстѣ съ гальванометромъ)

$$i = \frac{E - E'}{R + R' + r}$$

Такъ какъ опытъ показываетъ что въ нашемъ случаѣ $i = 0$, то заключаемъ что

$$E - E' = 0 \text{ или } E = E',$$

что и требовалось доказать.

Но еслибы мы *отдѣльно* замѣнили большой элементъ, затѣмъ малый, помощью проводника сопротивленіе котораго есть r , то напряженіе i' въ случаѣ большаго элемента выражающееся формулою $i' = \frac{E}{R + r}$, было бы значительно больше чѣмъ напряженіе тока i'' соответствующее случаю малаго элемента и выражающееся формулою $i'' = \frac{E'}{R' + r}$. Но такъ какъ $E = E'$, то чтобы i''

было меньше i' , сопротивленіе R' должно быть больше R : сопротивленіе малаго элемента больше чѣмъ сопротивленіе элемента большихъ размѣровъ. Этого и должно было ожидать, такъ какъ сопротивленіе проводника вообще тѣмъ меньше чѣмъ значительнѣе площадь его сѣченія. Если поверхность одного элемента въ n разъ больше поверхности другаго, то сопротивленіе перваго въ n разъ меньше сопротивленія втораго. Потому въ случаѣ n элементовъ соединенныхъ всѣ цинки вмѣстѣ и всѣ углы вмѣстѣ, общее сопротивленіе будетъ $\frac{R}{n}$, если сопротивленіе каждаго отдѣльнаго элемента есть R .

Имѣя эти данныя, легко разрѣшить поставленный выше вопросъ. Электродвижущая сила n элементовъ соединенныхъ поверхностью остается тою же какъ еслибы былъ одинъ элементъ, но сопротивленіе уменьшается въ n разъ, сравнительно съ однимъ элементомъ и будетъ $= \frac{R}{n}$. Слѣдов. напряженіе тока будетъ

$$i = \frac{E}{\frac{R}{n} + r} = \frac{nE}{R + nr},$$

гдѣ r сопротивленіе соединительнаго проводника.

Видимъ что если r очень мало, такъ что nr можетъ быть пренебрежено сравнительно съ R , то сила тока будетъ

$$i = \frac{nE}{R},$$

то-есть въ n разъ больше чѣмъ въ случаѣ одного элемента. Такимъ образомъ при соединительномъ проводникѣ малаго сопротивленія выгодно увеличивать *поверхность* элементовъ.

Если, напротивъ того, r велико, такъ что R можно пренебречь сравнительно съ nr , то сила тока будетъ

$$i = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r},$$

то-есть не увеличится сравнительно съ однимъ элементомъ. Въ случаѣ большаго сопротивленія увеличеніе поверхности не имѣетъ, слѣдовательно, такого значенія какъ увеличеніе числа элементовъ.

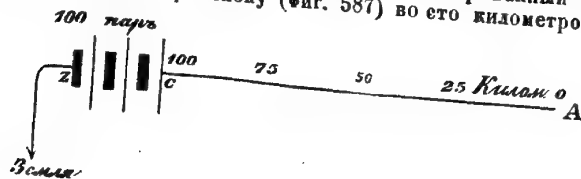
§ 409. Приложение закона Ома къ случаю M элементовъ раздѣленныхъ на n группъ, изъ коихъ въ каждой по n элементовъ соединенныхъ поверхностью. Имѣемъ, на примѣръ, 50 элементовъ которые разбиваемъ на 10 группъ по пяти элемен-

товъ. Въ каждой группѣ связываемъ всѣ цинки вмѣстѣ, всѣ угли вмѣстѣ. Далѣе, рассматриваемъ каждую группу какъ одинъ элементъ и соединяемъ ихъ разноименными полюсами: цинкъ первой группы съ углемъ второй, цинкъ второй съ углемъ третьей и т. д. Получаемъ батарею въ 10 большихъ элементовъ. Какова сила тока въ подобныхъ случаяхъ, если сопротивление соединительнаго проводника есть r ? Электродвижущая сила каждой группы есть E , та же какъ одного элемента; сопротивление $\frac{R}{n}$. Электродвижущая сила батареи изъ m такихъ группъ есть mE ; сопротивление $m \frac{R}{n}$. Слѣдовательно сила тока будетъ

$$i = \frac{mE}{m \frac{R}{n} + r} = \frac{mn \cdot E}{mR + nr} = \frac{ME}{mR + nr} \text{ ибо } M = m \cdot n$$

Разборъ этой формулы показываетъ что i , въ случаѣ данного M , будетъ имѣть наибольшую величину когда $mR = nr$ или $r = m \frac{R}{n}$, т. е. когда сопротивление соединительнаго проводника равно внутреннему сопротивленію батареи.

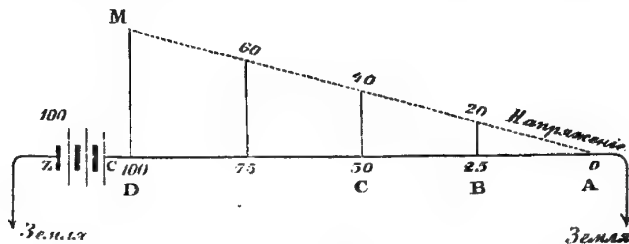
§ 410. Напряжение свободнаго электричества въ замкнутой цѣпи. Въ §§ 355 и 356 было говорено о томъ какъ распределяется свободное электричество въ незамкнутомъ столбѣ. Въ числѣ прочаго было упомянуто что если имѣемъ батарею изъ 100, напримѣръ, элементовъ, которой одинъ полюсъ,—положимъ отрицательный,—соединенъ съ землею, то вся батарея зарядится электричествомъ полюса несоединеннаго съ землею (положительнымъ въ рассматриваемомъ случаѣ), причѣмъ напряжение электричества возрастаетъ отъ конца соединеннаго съ землею, гдѣ оно равно нулю, до противоположнаго полюса гдѣ оно есть 100 (если единицею назовемъ напряжение при изолированномъ полюсѣ одного элемента котораго другой полюсъ соединенъ съ землею). Если присоединимъ къ полюсу C изолированный проводникъ, напримѣръ проволоку (фиг. 587) во сто километровъ дли-



Фиг. 582.

ною, то проводникъ этотъ на всемъ протяженіи пріобрѣтетъ одинакое напряжение, равное напряженію полюса C . Но соединимъ

конецъ A проволоки также съ землею. Черезъ это цѣпь сдѣлается замкнутою, и произойдетъ гальваническій токъ, ибо электричества отъ полюсовъ Z и C будутъ постоянно уходить въ землю. Исчезаетъ ли совсѣмъ электрическое напряжение въ этомъ случаѣ, и, если останется, то какъ будетъ распределено? Опыты обнаруживаютъ существованіе такого напряжения (опыты эти принадлежатъ къ весьма деликатнымъ такъ какъ электричество остающееся свободнымъ на поверхности проводниковъ составляющихъ цѣпь облекаетъ ихъ крайне тонкимъ слоемъ). Они показываютъ что напряжение не остается постояннымъ на протяжении проволоки CA , но постепенно уменьшается отъ полюса C гдѣ оно равняется 100, до мѣста соединенія A съ землею, гдѣ оно равняется нулю. На фиг. 588 величины напряжения въ разныхъ точкахъ проволоки означены вертикальными линіями, вершины которыхъ лежатъ

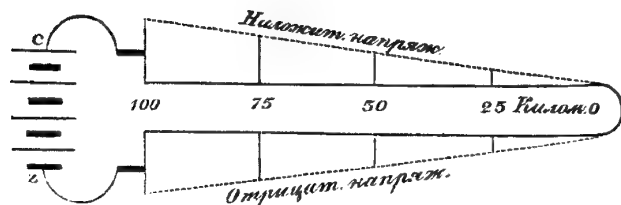


Фиг. 588.

на общей прямой MA . Другими словами въ проволоку AM напряжение возрастаетъ прямо пропорціонально разстоянію отъ конца A гдѣ оно равно нулю.

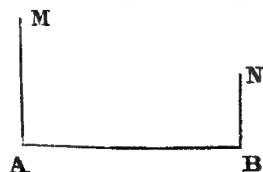
Въ рассмотрѣнномъ случаѣ вся цѣпь представляетъ электрическое напряжение одного знака, именно положительное. Укажемъ случай когда въ цѣпи наблюдается какъ положительное такъ и отрицательное напряжение. Таковъ случай когда ни тотъ ни другой полюсъ не соединены съ землею, а сообщаются между собою помощью проводника, который представляетъ себѣ состоящимъ изъ двухъ однообразныхъ проволокъ равной длины какъ на фиг. 589 (слѣд. стр.). Всю цѣпь представимъ себѣ изолированную, а батарею состоящую изъ 200 элементовъ. Тогда напряжение на полюсѣ C будетъ $+ 100$, на полюсѣ $Z - 100$. Въ проволокахъ, въ верхней,—положительное напряжение уменьшающееся отъ 100 до нуля при точкѣ A ; въ нижней,—отрицательное, уменьшающееся подобнымъ же образомъ. При точкѣ A и при точкѣ B (въ срединѣ батареи) напряжения равны нулю.

Эти точки можно сообщить съ землею, не измѣняя распределе́нія электричества въ цѣпи.



Фиг. 589.

§ 411. Указанная Омомъ аналогія между распространіемъ тепла въ проводникахъ и электричества въ гальванической цѣпи. Фурье, изслѣдуя вопросъ о распространіи теплоты въ тѣлахъ, вывелъ слѣдующее, оправданное опытомъ, заключеніе. Представимъ себѣ стѣну неопредѣленной длины, которой одна сторона A поддерживается постоянно при температурѣ a , другая B при меньшей температурѣ b . По истеченіи болѣе или менѣе значительнаго времени съ начала опыта, установится постоянный потокъ теплоты, такъ что каждый слой приобрететъ нѣкоторую неизмѣнную температуру (тѣмъ болѣе высокую чѣмъ слой ближе къ сторонѣ A) и будетъ въ данное время столько же принимать тепла сколько отдавать его. Количество теплоты проходящей въ единицу времени чрезъ единицу площади всякаго параллельнаго сторонамъ A и B сѣченія выразится формулою $K \frac{a-b}{e}$, гдѣ e толщина стѣны, k постоянный коэффициентъ зависящій отъ натуры вещества (коэффициентъ теплопроводности). Въ случаѣ если рассматриваемое сѣченіе есть не единица, а ω , формула будетъ $K \frac{a-b}{e} \omega$. Омъ допустилъ что подобный законъ (законъ распространенія теплоты по одному направленію или линейнаго распространія теплоты) прилагается и къ движенію электричества въ каждой части гальванической цѣпи, напримеръ (фиг. 590) въ проволоку AB . При



Фиг. 590.

этомъ толщинѣ стѣны соответствуетъ длина l проволоки, температура a и b электрическія напряжения на концахъ ея (эти напряжения назовемъ f' и f'' , на чертѣжъ они изображены вертикальными линіями AM и BN). Такимъ образомъ количество i электричества проходящаго чрезъ сѣченіе ω проволоки будетъ

$$i = k\omega \frac{f' - f''}{l}$$

или, такъ какъ согласно § 404, $\frac{l}{k\omega} = \lambda$, сопротивленію разсматриваемой проволоки,

$$i = \frac{f' - f''}{\lambda}.$$

Представимъ себѣ всю цѣпь какъ кольцо изъ однородной проволоки въ нѣкоторомъ сѣченіи котораго дѣйствуетъ электродвижущая сила, производящая то что съ двухъ сторонъ этого сѣченія оказывается нѣкоторая, постоянно сохраняющаяся разность электрическихъ напряженій E . Тогда въ формулѣ выражающей количество проходящаго электричества вмѣсто $f' - f''$ надо поставить E , вмѣсто λ величину R —общее сопротивленіе всей цѣпи. Получимъ

$$i = \frac{E}{R}$$

А такъ какъ дѣйствіе на стрѣлку, какимъ измѣряется сила тока, пропорціонально количеству проходящаго электричества, то эту формулу можно разсматривать какъ выражающую силу или напряженіе тока.

Такимъ путемъ Омъ теоретически вывелъ свой законъ, открытый имъ первоначально путемъ опыта.

§ 412. Зависимость дѣйствій тока отъ его силы. Открытый Джоелемъ законъ нагрѣванія проводника проходящимъ чрезъ него гальваническимъ токомъ. Движеніе электричества въ проводникѣ, побѣждая сопротивленіе противъ себя, нагрѣваетъ его. Уже по воставляемому этимъ проводникомъ, нагрѣваетъ его. Уже по аналогіи съ нагрѣваніемъ проволоки разрядомъ Лейденской банки, можно допустить что нагрѣваніе проводника зависитъ не только отъ количества проходящаго электричества, но и отъ его напряженія, отъ котораго зависитъ электродвижущая сила гонящая электрическія массы. Допустимъ что количество q развиваемаго въ данное время тепла пропорціонально количеству проходящаго электричества (то есть силѣ тока i) и разности напряженій $f' - f''$ при концахъ разсматриваемаго проводника. Слѣдов. $Q = A \cdot (f' - f'') \cdot i$, гдѣ A нѣкоторый постоянный коэффициентъ. Но такъ какъ по закону Ома $i = \frac{f' - f''}{r}$, гдѣ r сопротивленіе проводника, то $q = A \cdot i^2 \cdot r$, то-есть количество

тепла развивающагося въ данное время въ проводникъ чрезъ который идетъ токъ пропорціонально квадрату силы тока и сопротивленію проводника. Чѣмъ значительнѣе сила тока и чѣмъ болѣе сопротивление проводника, тѣмъ значительнѣе его нагреваніе. Законъ этотъ открытъ Джоулемъ (1841) и оправданъ точными опытами.

Разсматривая цѣпи какъ однородный проводникъ сопротивленія R , въ определенномъ мѣстѣ котораго дѣйствуетъ электродвижущая сила E , и допустивъ что коэффициентъ A имѣетъ всегда ту же постоянную величину, приходимъ къ согласному съ опытомъ заключенію что количество Q тепла развивающагося во всей цѣпи пропорціонально количеству проходящаго электричества и электродвижущей силѣ E и есть $Q = A \cdot E \cdot i$. Но $i = \frac{E}{R}$, слѣд. $Q = A \cdot i^2 \cdot R$.

§ 413. Въ чемъ источникъ энергіи тока. Токомъ вообще называется всякое передвиженіе электрическихъ массъ. Такимъ образомъ разрядъ лейденской банки, возбуждаемое чрезъ индукцію движеніе электричества въ проводникѣ, наконецъ термо-электрическій и обыкновенный гальваническій токъ суть различные случаи явленія электрическаго тока. Токъ можетъ производить различныя дѣйствія: нагреваніе, намагниченіе, передвиженіе тѣлъ, химическое разложеніе. Спрашивается: гдѣ источникъ силы производящій эти дѣйствія или точнѣе гдѣ источникъ энергіи обнаруживающійся въ этихъ дѣйствіяхъ? Въ случаѣ лейденской банки потенциальная энергія ея заряда (такъ можемъ мы разсматривать состояніе банки когда она заряжена) разрѣшающаяся дѣйствіями какія обнаруживаются при разрядѣ, имѣетъ свой источникъ въ механической работѣ самого наблюдателя или двигателя вращающаго кругъ электрической машины помощью которой, предполагаемъ, заряжается банка. Усиліе наблюдателя вращающаго машину употребляется во-первыхъ на то чтобы побѣждать тѣ тренія какія обнаруживаются независимо отъ развитія электричества, во вторыхъ чтобы побѣдить то невидимое препятствіе какое обнаруживается вслѣдствіе развитія электричества. Существованіе этого препятствія въ случаѣ машины Гольдца обнаруживается тѣмъ что наблюдателю становится труднѣе вращать машину когда она въ дѣйствіи, чѣмъ когда она не доставляетъ электричества; въ случаѣ обыкновенной машины оно не обнаружено прямымъ опытомъ). Избытокъ работы потраченный на то чтобы побѣдить это препятствіе и есть источникъ потенциальной энергіи заряда. Эта энергія опредѣляется, во-первыхъ количествомъ электричества сообщеннаго банкѣ или батарѣи и во-вторыхъ напряженіемъ или плотностію этого электричества. Требуется не одинаковая работа для того чтобы ввести количество e электричества въ батарею изъ 10 банокъ или чтобы ввести то же количество e въ одну банку, (въ послѣднемъ случаѣ скопленное въ одной банкѣ электричество будетъ имѣть

въ 10 разъ большую плотность чѣмъ когда оно разлито по поверхности въ 10 разъ большей). И это понятно, такъ какъ по мѣрѣ скопленія электричества въ банкѣ труднѣе и труднѣе становится вводить новыя количества однороднаго электричества отталкиваемые находящимися уже тамъ. Въ свою очередь дѣйствія въ которыя преобразуется потенциальная энергія банки также зависятъ какъ отъ количества e электричества,

такъ и отъ плотности $\frac{e}{s}$ (гдѣ s поверхность банки, смотри § 339). Такъ, нагреваніе проволоки чрезъ которую проходитъ разрядъ лейденской батареи пропорціонально какъ количеству электричества заряжающаго батарею такъ и его плотности (законъ Риса).

Въ случаѣ индуктивнаго возбужденія электричества относительно передвигеніемъ магнитовъ и проводниковъ источникъ энергіи также въ той механической работѣ помощью какой передвиженіе производится.

Въ случаѣ термо-электрической цѣпи источникъ энергіи есть теплота сообщаемая нагреваемому спаю, преобразующаяся въ электрическій токъ, въ свою очередь разрѣшающійся явленіемъ нагреванія какія всей цѣпи вообще такъ и холоднаго спаю въ особенности. Если термо-электрическій токъ, кромѣ нагреванія, производитъ какія-либо иныя дѣйствія, то количество теплоты порождаемое токомъ менѣе того какое сообщается теплоту спаю: часть утрачивается на эти дѣйствія.

Въ случаѣ гидро-электрическаго тока источникъ его энергіи въ тѣхъ химическихъ явленіяхъ какъ происходятъ въ цѣпи и сопровождаются отдѣленіемъ и поглощеніемъ теплоты. Окисляющійся и слѣдовательно сгорающій цинкъ главный матеріалъ потребляемый при образованіи тока. Какъ скоро гальваническая батарея замкнута, обнаруживаются химическія дѣйствія и въ тоже время замѣчается нагреваніе и притомъ во всей цѣпи: какъ внутри элемента, или батарѣи, такъ и въ соединительномъ проводникѣ. Нагреваніе внутри элемента, очевидно имѣетъ источникъ въ происходящихъ тамъ химическихъ соединеніяхъ, вообще, какъ извѣстно, сопровождающихся разіемъ тепла. Теплота обнаруживающаяся въ соединительномъ проводникѣ и распределяющаяся въ немъ по законамъ отличнымъ отъ законовъ обыкновеннаго распространенія тепла чрезъ теплопроводящую среду, есть результатъ тока. Спрашивается: есть ли какое отношеніе, и какое именно, между тепломъ развивающимся въ элементѣ или батарѣи, и тѣмъ, какое обнаруживается въ остальной части цѣпи? Количество тепла, доставляемаго химическими процессами внутри элемента (который предполагаемъ, напримеръ, состоящимъ изъ цинка и платины погруженныхъ въ воду съ серною кислотой) можетъ быть опредѣлено теоретически. Соединеніе цинка съ кислородомъ есть

процессъ неявнаго горѣнія, сопровождающійся значительнымъ и вполне опредѣленнымъ отдѣленіемъ тепла; раствореніе окиси цинка въ сѣрной кислотѣ также отдѣляетъ опредѣленное количество тепла: наконецъ, разложение воды *потребляетъ* количество тепла равное тому, какое развивается при ея образованіи изъ кислорода и водорода. Всѣ эти три количества извѣстны изъ опыта. Потому не трудно разсчитать, что когда окисляется 33 грамма цинка и вслѣдствіе того разлагается 9 граммовъ воды съ выдѣленіемъ *одного грамма* водорода, общее количество доставляемаго тепла будетъ равно 18.444 единицъ тепла *). Такого количество тепла, которое мы получили бы, еслибы сказанные химическіе процессы совершились помимо тока, чисто химическимъ путемъ. Спрашивается, то же ли количество тепла выдѣляется этими процессами, когда они происходятъ въ зависимости отъ гальваническаго тока. И есть ли связь между этою теплотою и тою, которая развивается дѣйствіемъ тока въ соединительной проволоцѣ? Укажемъ опыты французскаго ученаго Фавра, относящіеся къ этому предмету.

Фавръ началъ съ того, что уменьшилъ количество тепла, развивающагося *внѣ* элемента, до возможной степени. Это количество можно сдѣлать ничтожнымъ, если соединить полюсы элемента толстою короткою проволокою. Помѣстивъ замкнутый такимъ образомъ элементъ въ особое устройство *калориметръ* (въ формѣ ртутнаго термометра съ огромнымъ резервуаромъ внутри котораго вводятся отдающіе теплоту тѣла), можно было опредѣлить, сколько тепла отдѣляется подъ вліяніемъ тока въ продолженіе времени когда окислится 33 грамма цинка и выдѣлится, слѣдовательно, 1 граммъ водорода. Оказалось, что развилось то самое количество, которое отдѣлилось бы, еслибы химическіе процессы произошли *помимо* тока, то-есть около 18.444 единицъ тепла. Все это количество въ описываемомъ опытѣ развивается внутри элемента, такъ какъ толстая и короткая соединительная проволока не нагревается замѣтно. Второй опытъ былъ произведенъ въ иныхъ условіяхъ. Полюсы были соединены тонкою, болѣе или менѣе длинною проволокою. Въ этомъ случаѣ тепло развивается не только *внутри* элемента, но весьма замѣтно и въ соединительной проволоцѣ. Химическія дѣйствія идутъ медленнѣе чѣмъ въ первомъ случаѣ: потребно болѣе значительное время для выдѣленія грамма водорода (токъ слабѣе). вмѣстѣ съ тѣмъ количество тепла, развивающагося внут-

*) Именно 42.451 доставляемый окисленіемъ цинка, 10.435 раствореніемъ окиси цинка въ сѣрной кислотѣ и 34.462 потребляется разложениемъ воды. За единицу тепла принимается то ея количество, которое потребно для нагреванія грамма воды на одинъ градусъ.

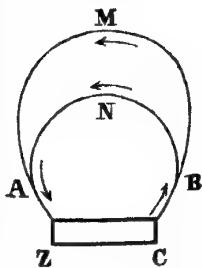
ри элемента, соотвѣтственно тому же химическому дѣйствію, уменьшается. Тотъ же химическій процессъ доставляетъ по-видимому, менѣе тепла. Но тепло это не утрачено: оно только перенесено въ соединительную проволоку. Совокупность тепла, развившагося внутри элемента и въ соединительной проволоцѣ, опять приблизительно равна 18.444 единицамъ (въ опытѣ Фавра 16.648 въ элементѣ и 2.219 въ проводникѣ). Такимъ образомъ теплота, развивающаяся въ проводникѣ, заимствована отъ теплоты химическихъ дѣйствій элемента. Чѣмъ имѣствовала отъ теплоты химическихъ дѣйствій элемента, чѣмъ труднѣе она длиннѣе и тоньше соединительная проволока, чѣмъ труднѣе она проводитъ электричество, чѣмъ, однимъ словомъ, значительнѣе ея *сопротивленіе*, тѣмъ большее количество тепла отвлекается изъ элемента, тѣмъ медленнѣе вмѣстѣ съ тѣмъ совершаются химическія процессы и тѣмъ слабѣе токъ, такъ что если хотимъ развитъ въ соединительномъ проводникѣ значительнаго *сопротивленія* большое количество тепла, то должны взять батарею изъ многихъ элементовъ. Если соединительная проволока состоитъ изъ частей различнаго сопротивленія: то отъ элемента или батареи тепло распределяется вложенное изъ элемента и скопляется болѣе тамъ, гдѣ сообразно этимъ сопротивленіямъ и скопляется болѣе тамъ, гдѣ *сопротивленіе* значительнѣе. Мы можемъ такимъ образомъ, по мощи гальваническаго тока, тепло отъ источника заставить перейти чрезъ холодное тѣло (толстую проволоку), не нагревая его, и обнаружить этотъ скрытый огонь тамъ, гдѣ токъ встрѣтитъ проводникъ съ значительнымъ сопротивленіемъ—тонкую проволоку которую раскалитъ, или слои воздуха который наполнитъ сіяніемъ. Электрический процессъ обнаруживается тѣмъ, что тепло, порожаемое химическими дѣйствіями элемента или батареи, распространяется и распространяется въ цѣпи не по обыкновеннымъ законамъ теплораспространенія. Электричество является посредникомъ, позволяющимъ, съ одной стороны, обнаружиться химическимъ дѣйствіемъ батареи, съ другой, разносящимъ и распределяющимъ извѣстнымъ образомъ въ цѣпи тепло, развившагося вслѣдствіе этихъ дѣйствій. Химическія дѣйствія порождаютъ тепло; ими же обусловливается процессъ, который мы зовемъ электрическимъ токомъ. Можно было бы думать что количество развивающагося тепла должно бы уменьшить ся, ибо кромѣ тепла развивается электричество. Между тѣмъ мы собираемъ въ цѣпи безъ потери все тепло, какое способны породить эти дѣйствія *). На счетъ чего же развивается электричество и обра-

*) Мы предполагаемъ, что дѣйствія тока ограничиваются развитіемъ тепла. Фавръ дѣлалъ третій рядъ опытовъ, вводи въ цѣпь небольшую электро-двигательную машину. Общее количество тепла, развившагося соотвѣтственно грамму выдѣленнаго водорода было въ этомъ случаѣ менѣе тѣмъ количествомъ которое потрачено было на произведеніе работы.

зуется ток? Электрический процесс очевидно имѣть переходный характеръ. Химическія дѣйствія не прямо порождаютъ тепло: энергія обнаруживается въ формѣ электрическаго процесса и потомъ уже разрѣшается въ тепло. Электричество является моментомъ перехода, возникаетъ чтобы исчезнуть, преобразовавъ дѣйствіе изъ одной формы въ другую. Дѣйствіе проводника, по которому проходитъ токъ, на магнитную стрѣлку, есть вѣншее свидѣтельство того особаго состоянія, въ какомъ находится проводникъ, служащій для электрическаго переноса энергіи.

Вообще характеристическая черта электрическаго процесса есть его мимолетность. Это ступень ведущая отъ одного явленія къ другому; переходный моментъ, появляющійся чтобы исчезнуть, давъ возможность одному явленію преобразоваться въ другое. Универсальность электрическаго процесса въ томъ что онъ служитъ связью самыхъ разнообразныхъ явленій. Электричество переноситъ дѣйствіе отъ источника на какое угодно разстояніе и переноситъ съ поразительною быстротой. Оно, употребляемъ слова Фарадея, „можетъ чрезъ металлы и известные роды угля передать на разстояніе силу, которую зовутъ обыкновенно химическимъ средствомъ“. Образуя гальваническую цѣпь проводниковъ, мы можемъ путемъ электрическаго тока теплоту гидро-электрическаго элемента или нагрѣтаго спая разнородныхъ металловъ почти мгновенно перенести на значительное разстояніе и обнаружить ее тамъ раскаленіемъ проволоки, нагрѣваніемъ другаго спая или инымъ образомъ.

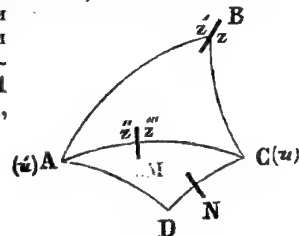
§ 414. Отводные токи. Представимъ себѣ (фиг. 591) что проводникъ соединяющій полюсы батареи раздѣляется на двѣ вѣтви, такъ что токъ идущій отъ положительнаго полюса батареи при B раздѣляется на два канала, вновь соединяющіеся при точкѣ A . Токи идущіе по вѣтвямъ главнаго канала именуются *отводными*. Спрашивается, при данной электродвижущей силѣ E батареи и известныхъ сопротивленіяхъ батареи и вѣтвей соединительнаго проводника, какъ велико напряженіе тока, во-первыхъ въ части $AZCB$ и во-вторыхъ въ вѣтвяхъ ANB и AMB ? Вопросъ разрѣшается весьма легко съ помощію законовъ указанныхъ Гейдельбергскимъ профессоромъ Кирхгофомъ, и служащихъ пополненіемъ закона Ома. Первый законъ Кирхгофа выражается такъ: алгебраическая сумма напряженій токовъ въ вѣтвяхъ пересѣкающихся въ одной точкѣ равна нулю (причемъ напряженія тока въ вѣтвяхъ приносящихъ электричество къ точкѣ пересѣченія считаются положительными, въ вѣтвяхъ уводящихъ отрицательными). Законъ этотъ имѣетъ свое объясненіе въ томъ



Фиг. 591.

что напряженіе тока пропорціонально количеству движущагося электричества. Очевидно, что количество электричества притекающаго къ точкѣ пересѣченія должно быть равно количеству утекающаго отъ нея, ибо иначе въ ней было бы непрерывное увеличеніе электрическаго напряженія. Другой законъ состоитъ въ томъ что въ произвольно развѣтвленной сѣти проводниковъ, во всякой замкнутой ея части, сумма дѣйствующихъ въ ней электродвижущихъ силъ равна суммѣ произведеній силы тока въ каждой изъ составляющихъ ея вѣтвей на сопротивление этой вѣтви*. Такимъ образомъ въ разсматриваемомъ случаѣ имѣемъ: по первому закону Кирхгофа (назвавъ силу тока въ части $AZCB$ буквою i , въ части BNA буквою i' , въ части BMA буквою i'') $i = i' = i''$, по второму закону (относя его къ кругу $AMBNA$ и назвавъ сопротивление вѣтви ANB буквою λ' , вѣтви AMB буквою λ'') $i\lambda' - i''\lambda'' = 0$, такъ какъ въ кругѣ нѣтъ электродвижущихъ силъ; по второму же закону (прилагая его къ кругу $ANBCZA$) $i\lambda + i'\lambda' = E$, гдѣ E электродвижущая сила элемента, λ сопротивление вѣтви $AZCB$, включающей въ себя элементъ. Разрѣшая эти три уравненія, получимъ

*) Законъ этотъ есть обобщеніе соображеній Ома указанныхъ въ § 411. Имѣемъ, напримѣръ, сѣть проводниковъ изображенную на фиг. 592. При сѣченіяхъ BM и N дѣйствуютъ электродвижущія силы, вслѣдствіе чего электрическое напряженіе по одной сторонѣ сѣченія B есть z , по другой z' , причемъ $z - z'$ равно электродвижущей силѣ E ; при сѣченіи M напряженіе по одной сторонѣ z'' , по другой z''' и $z'' - z''' = E'$. Обратимъ вниманіе на замкнутый кругъ $ABCM$. Назвавъ силу тока и сопротивление въ вѣтви BC буквами i и λ ; въ вѣтви CM буквами i' и λ' ; въ вѣтви MA буквами i'' и λ'' ; въ вѣтви AB буквами i''' и λ''' ; наименовавъ, наконецъ, электрическія напряженія въ точкахъ C и A буквами u и u' , будемъ, по закону Ома, имѣть:



Фиг. 592.

Сложивъ эти уравненія, получимъ (такъ какъ $z - z' = E$ $z'' - z''' = E'$):

$$E + E' = i\lambda + i'\lambda' + i''\lambda'' + i'''\lambda'''$$

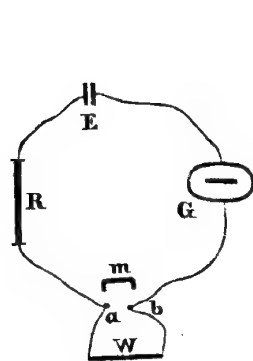
что и требовалось доказать.

$$i = \frac{E(\lambda' + \lambda'')}{\lambda\lambda' + \lambda\lambda'' + \lambda\lambda''}$$

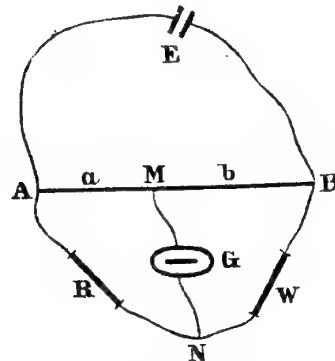
$$i' = \frac{E\lambda''}{\lambda\lambda' + \lambda\lambda'' + \lambda\lambda''}$$

$$i'' = \frac{E\lambda'}{\lambda\lambda' + \lambda\lambda'' + \lambda\lambda''}$$

§ 415. Точные способы для определения сопротивления и электро-движущей силы. 1) *Определение сопротивления данного проводника.* Требуется определить сопротивление проводника W . Составим цепь, как показано на фиг. 593, из элемента E , гальванометра G , реостата R и проводника W . Стрелка гальванометра покажет определенное отклонение. Соединив концы a и b короткою толстою проволокою m , выведем проводник W из цепи. Отклонение увеличится, но увеличив сопротивление реостата, можем возвратить стрелку в прежнее положение. Сопротивление прибавленного числа оборотов реостата, очевидно, равняется искомому сопротивлению проводника.



Фиг. 593.



Фиг. 594.

Другой способ именуется способом *Уитстонова моста*. Развѣтвивъ проволоки какъ показано на фиг. 594, вводить въ вѣтвь AN реостатъ R ; въ вѣтвь NB проводникъ W котораго сопротивление w требуется определить, и перекидывать отъ вѣтви AB къ вѣтви ANB поперечную проволоку съ гальванометромъ G . Измѣняя сопротивление r реостата до тѣхъ поръ пока гальванометръ возвратится къ нулю, и слѣд. въ вѣтви MN не будетъ тока. Тогда, назвавъ сопротивления вѣтвей AM и MB

буквами a и b , искомую величину w найдемъ изъ пропорціи *) $r:w=a:b$. Въ случаѣ если $a=b$, будемъ имѣть $w=r$, то-есть сопротивление проводника равняется сопротивлению реостата.

2) *Определение внутреннего сопротивления самой батареи.* Замкнемъ батарею помощію гальванометра и реостата; стрѣлка гальванометра отклонится на определенное число градусовъ. Соответствующую силу тока назовемъ I . Увеличимъ сопротивление реостата такъ чтобы сила тока значительно уменьшилась (напримѣръ до половины прежней величины). Пусть новая сила тока i (**) будетъ i ; прибавленное сопротивление реостата w .

Назвавъ буквами: E —электродвижущую силу элемента; r сопротивление гальванометра и введенной въ первомъ опытѣ частіи реостата; R искомое сопротивление элемента, будемъ имѣть по закону Ома:

$$I = \frac{E}{R+r}, \quad i = \frac{E}{R+r+w}, \quad \text{откуда}$$

$$R+r = w \cdot \frac{i}{I-i}$$

Опредѣливъ отдѣльно величину r и вычтя ее изъ найденной величины $R+r$, найдемъ искомую величину R .

3) *Сравнительное определение электродвижущей силы двухъ элементовъ.* Замыкаютъ первый элементъ помощію гальванометра и нѣкотораго очень большаго сопротивления r предъ которымъ величина R внутреннего сопротивления элемента можетъ быть пренебрежена. Въ такомъ случаѣ силу тока i можно выразить формулою $i = \frac{E'}{r}$, гдѣ E' электродвижущая сила элемента. Замкнемъ другой элементъ помощію того же гальванометра и другаго большаго сопротивления r' такой величины чтобы отклоненіе стрѣлки, а слѣдов. и сила тока были таковы же какъ въ первомъ опытѣ. Будемъ имѣть $i = \frac{E''}{r'}$, гдѣ E'' электродвижущая сила втораго элемента. Слѣдовательно искомое отношеніе будетъ:

*) По законамъ Кирхгофа, такъ какъ сила тока въ перекинутой вѣтви MN равна нулю, имѣемъ (назвавъ силу тока въ вѣтвяхъ AM , MB , AN , NB буквами i , i' , i'' , i''') $i=i'$, $i''=i'''$, $ia=i''R$; $ib=i'''w$, откуда $a:b=R:w$.

**) Въ случаѣ если стрѣлка имѣетъ очень малое отклоненіе величину угла отклоненія можно считать пропорціональною силѣ тока, и слѣдовательно уменьшеніе отклоненія вдвое будетъ признакомъ уменьшенія силы вдвое. О болѣе точномъ измѣреніи силы тока скажемъ въ слѣдующемъ отдѣлѣ.

$$\frac{E'}{E''} = \frac{r}{r'}$$

Другой способ. Замыкают первый элемент помощью гальванометра и реостата, такъ что стрѣлка отклонится на нѣкоторое определенное число градусовъ (напримѣръ на 40°). Силу тока соответствующую этому отклоненію назовемъ i' . Увеличиваемъ сопротивленіе реостата на величину a , такъ что отклоненіе уменьшится на определенное число градусовъ (отъ 40°, напримѣръ, до 20°). Силу тока соответствующую второму отклоненію назовемъ i'' . Замыкаемъ второй элементъ помощью того же гальванометра и реостата, и дадимъ сопротивленію послѣдняго такую величину чтобы отклоненіе, а слѣд. и сила тока i' были тѣ же какъ въ первомъ опытѣ. Увеличимъ сопротивление реостата до тѣхъ поръ пока отклоненіе уменьшится на то же число градусовъ какъ въ опытѣ съ первымъ элементомъ (отъ 40° до 20° въ нашемъ предположеніи), и слѣд. сила тока будетъ i'' . Величина, на какую надо увеличить сопротивление реостата будетъ иная чѣмъ въ опытѣ съ первымъ элементомъ, гдѣ она равнялась a . Назовемъ ее буквою b . Не трудно доказать что искомое отношеніе электродвижущихъ силъ будетъ

$$\frac{E'}{E''} = \frac{a}{b}$$

Дѣйствительно, наши четыре опыта, истолкованные по закону Ома, дадутъ слѣдующія четыре уравненія

$$i' = \frac{E'}{R + r'}, \quad i'' = \frac{E'}{R + r' + a}; \quad i' = \frac{E''}{R' + r''}; \quad i'' = \frac{E''}{R' + r'' + b}$$

гдѣ R и R' внутреннія сопротивленія перваго и втораго элемента; r' и r'' совокупныя сопротивленія гальванометра и введенной части реостата въ первомъ и третьемъ опытахъ. Изъ этихъ уравненій не трудно вывести предыдущее отношеніе.

§ 416. Скорость электричества. Подъ именемъ скорости электричества можно разумѣть: 1) скорость какая должна быть приписана электрическимъ частицамъ, передвиженіе которыхъ, согласно теоріи, образуетъ электрический токъ. Абсолютная величина этой скорости неизвѣстна; 2) скорость съ какою, послѣ того момента какъ цѣпь стала замкнутою, то или другое дѣйствіе тока обнаруживается въ данномъ пунктѣ цѣпи болѣе или менѣе отстоящемъ отъ источника дѣйствія. Скорость эта весьма различна въ различныхъ случаяхъ, но во-

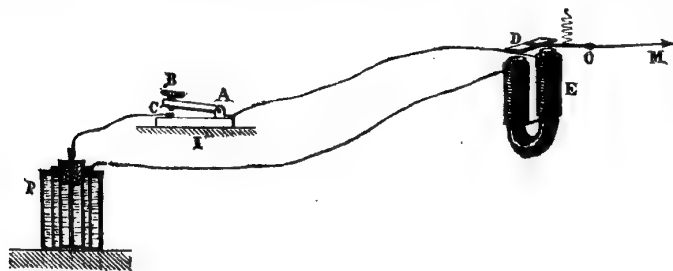
обще весьма значительна. Такъ, разрядъ лейденской банки чувствуется почти мгновенно на всемъ протяженіи цѣпи, хотя бы эта цѣпь имѣла весьма большую длину. Подобнымъ образомъ, при замыканіи гальванической батареи помощью весьма длиннаго проводника, токъ весьма скоро достигаетъ замѣтной силы на самыхъ отдаленныхъ частяхъ, но во всякомъ случаѣ прежде въ пунктахъ болѣе близкихъ къ батарее чѣмъ въ болѣе удаленныхъ отъ нея.

VIII. Нѣкоторыя приложенія электричества

§ 417. Электромагнитныя телеграфы. Устройство электро-магнитныхъ телеграфовъ основывается: 1) на возможности, проведя проволоку съ одной станціи A на другую болѣе или менѣе отдаленную B , отклонить въ ту или другую сторону, дѣйствіемъ тока замыкаемаго на станціи A , магнитную стрѣлку находящуюся на станціи B , и притомъ почти въ тотъ самый моментъ когда произошло замыканіе цѣпи (телеграфъ Уитстона, введенный въ 1845 г. и долгое время преимущественно употреблявшійся въ Англіи); 2) на возможности, при подобныхъ условіяхъ, почти мгновенно намагнитить или опять размагнитить кусокъ желѣза помѣщенный на станціи B дѣйствіемъ тока замыкаемаго или прерываемаго на станціи A (американскій телеграфъ Морза и многіе другіе телеграфы). Ограничимся описаніемъ телеграфа Морза какъ преимущественно употребляемаго въ настоящее время *).

*. Вскорѣ послѣ первыхъ электро-магнитныхъ опытовъ Амперу пришла мысль приложить электро-магнетизмъ къ устройству телеграфовъ. Лапласъ указалъ на возможность помощью длинной проволоки привести въ движеніе магнитную стрѣлку, помѣщенную далеко отъ мѣста, гдѣ находится гальваническій снарядъ. Этимъ свойствомъ думалъ воспользоваться Амперъ для устройства телеграфовъ, предлагая употреблять столько проводящихъ проволокъ и магнитныхъ стрѣлокъ сколько буквъ алфавита. Впрочемъ первая мысль о приложеніи электрическихъ

Фиг. 595 позволяет ознакомиться съ идеею этого снаряда. *P* изображаетъ батарею помѣщенную на первой станціи; *E* электро-магнитъ, то-есть кусокъ желѣза обматанный проволокой, находящійся на второй станціи; концы проволоки электромагнита протянуты чрезъ пространство раздѣляющее станціи



Фиг. 595.

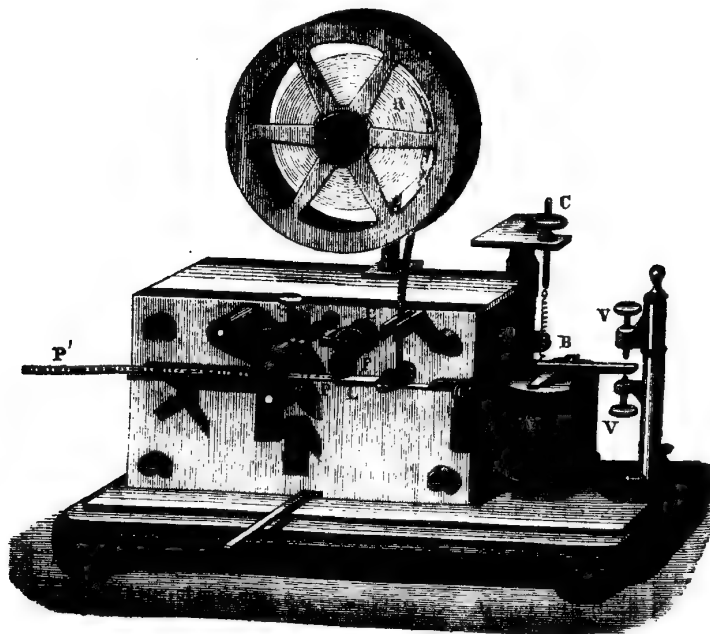
къ полюсамъ батареи *P*. Въ одной изъ проволокъ есть перерывъ занятый не большимъ снарядомъ *I*, помощью котораго можно замкнуть или

токовать къ телеграфамъ принадлежитъ мюнхенскому ученому, Земмерингу (Sœmmering, 1811). Но тогда не было известно дѣйствіе тока на магнитную стрѣлку, и потому Земмерингъ думалъ употребить, какъ сигналъ, разложеніе воды.

Баронъ Шиллингъ, чиновникъ русской службы, много занимался (1832) разрѣшеніемъ вопросовъ о электро-магнитномъ телеграфѣ и придумалъ рядъ остроумныхъ снарядовъ, не получившихъ, впрочемъ, практическаго примѣненія. Гауссъ и Веберъ въ Геттингенѣ провели (1836) проволоки отъ физическаго кабинета къ магнитной обсерваторіи, находящейся за городомъ, и посылая магнито-индуктивные токи съ одной станціи, отклоняли магнитную полоску на другой, передавая чрезъ то сигналы. Практическое осуществленіе электро-магнитнаго телеграфа для значительныхъ разстояній достигнуто главнымъ образомъ снарядами Уитстона и Морзе. Телеграфы, кромѣ отклоняющихъ стрѣлку и пишущихъ, бывають: съ дисерблатомъ, по которому ходитъ стрѣлка, указывая буквы; печатающія (какъ, напримѣръ, телеграфъ Юза); электрохимическіе (первый Байна, 1843 г.), къ которымъ принадлежитъ и замѣчательный пантелеграфъ Казелли, копирующий депешу въ томъ видѣ какъ она подана.

разомкнуть дѣль связывающую батарею съ электро-магнитомъ. Если нажать рукою на ручку *B*, то металлическая клавиша *AB* опустится; при *C* произойдетъ металлическое соединеніе, и токъ замкнется: въ тотъ же почти моментъ желѣзо электромагнита *E* сдѣлается магнитомъ. Какъ скоро нажатіе прекращено, клавиша подымается, токъ прерванъ, и электро-магнитъ тотчасъ теряетъ силу. Намагничиваніе и размагничиваніе электро-магнита могутъ произвести какія-либо дѣйствія, которыми можно воспользоваться въ качествѣ телеграфныхъ сигналовъ. Такъ, представимъ себѣ что у полюсовъ электро-магнита находится желѣзный якорь на коромыслѣ удерживаемый пружиною на нѣкоторомъ отъ нихъ разстояніи. Какъ скоро электро-магнитъ получаетъ силу, якорь притягивается, и другой конецъ коромысла подымается. Самый стукъ сопровождающій притяженіе якоря можетъ служить сигналомъ. Снабдивъ другой конецъ коромысла остриемъ и проводя въ близкомъ отъ него разстояніи на валъ бумажную ленту можно сдѣлать снарядъ отмѣчающій сигналы. Въ моментъ намагничиванія, подымающееся остріе прижимается къ бумагѣ и чертитъ на ней черту въ продолженіе всего времени пока идетъ токъ въ проволоку электро-магнита. Какъ только токъ прерванъ, якорь подымается, остріе опускается и отходитъ отъ движущейся надъ нимъ бумажной ленты, такъ что на ней остается бѣлый промежутокъ до того момента когда опять замкнутъ токъ и остріе начинаетъ чертить на бумагѣ. Очевидно, что можно условиться различными соединеніями длинныхъ и короткихъ черточекъ и промежутковъ между ними изображать различныя буквы алфавита и такимъ образомъ передавать съ одной станціи на другую слова и рѣченія. Лента тянется (фиг. 596), сжимающимися ее валиками *a* и *b*, приводимыми въ движеніе заведенною пружиной входящеюся

внутри аппарата. Винты *V* и *U* служатъ къ тому чтобы регулировать движеніе коромысла *B* удерживаемаго пружиною *C* на близкомъ разстояніи отъ электро-магнита *A*.



Фиг. 596.

Притяженіе коромысла, съ силою достаточною для того чтобы остріе чертило по бумажной лентѣ, требуетъ чтобы электро-магнитъ получилъ отъ проводимаго въ него съ другой станціи тока довольно значительное намагниченіе. Потому, при большихъ разстояніяхъ, даже сильная батарея не могла бы доставить токъ достаточно сильный для того чтобы apparatusъ работалъ. Въ такихъ случаяхъ аппаратъ приводятъ въ дѣйствіе токомъ особой *мѣстной* батареи,

стоящей на той самой станціи гдѣ аппаратъ. Токъ же батареи находящейся на первой станціи служитъ лишь къ тому чтобы замѣнить токъ *мѣстной* батареи, для чего достаточно самаго незначительнаго механическаго дѣйствія. Это достигается помощію небольшого снаряда (*реле*, переключка) состоящаго также изъ электро-магнита и коромысла испытывающаго незначительное передвиженіе, чрезъ что замыкается токъ.

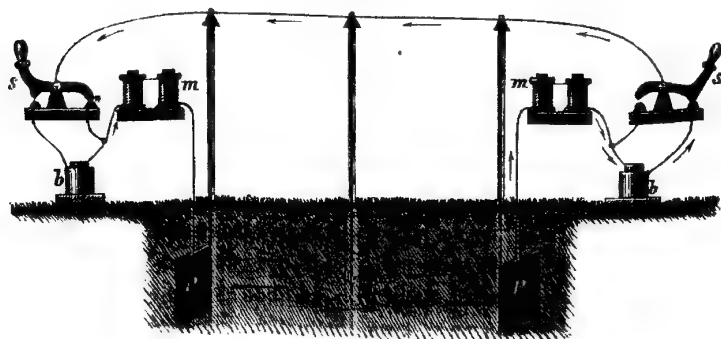
Въ новѣйшее время въ снарядахъ Морза сдѣлано усовершенствованіе позволяющее передавать сигналы на большія разстоянія безъ помощи реле. Коромысло не снабжается остріемъ а служитъ лишь къ тому чтобы концомъ своимъ (*L* на фиг. 596) немного приподнять бумажную ленту, чрезъ что она приходитъ въ прикосновеніе съ маленькимъ колесомъ *F*, окружность котораго постоянно покрыта чернилами (получаемыми имъ отъ налитаннаго ими мягкаго цилиндра *E*).

На фиг. 595 изображены двѣ проволоки: одна идущая отъ какого-либо полюса батареи *P* до электро-магнита, другая возвращающаяся отъ электро-магнита къ другому полюсу батареи. Штейнгель въ Мюнхенѣ (въ 1837 г.) нашелъ что нѣтъ надобности въ двухъ проволокахъ для того чтобы провести токъ съ одной станціи на другую и что можно воспользоваться землею въ качествѣ проводника замыкающаго цѣпь. Для этого достаточно отъ одного изъ полюсовъ батареи и отъ конца электро-магнита, который надлежало бы соединить съ этимъ полюсомъ, провести проволоки въ землю, окончивъ ихъ широкими металлическими досками (фиг. 597). Земля, какъ огромный проводникъ, приметъ въ себя какъ электричество непосредственно отведенное въ нее отъ соединеннаго съ доскою полюса батареи такъ и электричество отъ другаго полюса прошед-

шее чрезъ телеграфную проволоку въ электро-магнитъ и изъ него во вторую погруженную въ землю доску. При этомъ токъ не только не ослабляется сравнительно съ случаемъ когда станціи соединены двумя проволоками, но и значительно усиливается, ибо введенный въ цѣпь земной проводникъ представляетъ очень слабое сопротивленіе.

Не должно думать что слой земной коры лежащій между двумя досками играетъ роль проволоки или канала дополняющаго цѣпи и проводящаго электричество отъ одного полюса батареи къ другому. Какъ сказано, земной шаръ дѣйствуетъ какъ огромный проводникъ принимающій электричество какъ отъ того такъ и отъ другаго полюса. Роль земли выясняется довольно наглядно чрезъ слѣдующій воображаемый опытъ. Представимъ себѣ что станція А, гдѣ стоитъ батарея, находится на одной планетѣ, станція В, гдѣ электро-магнитъ, на другой планетѣ. Станціи соединены одною проволокой; несоединенные полюсы и конецъ электро-магнита соединены каждый съ своею планетой. Токъ тѣмъ не менѣе могъ бы проходить и телеграфъ дѣйствовать.

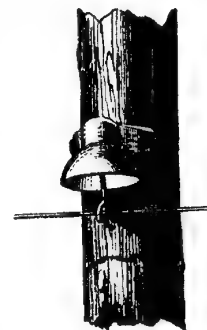
Фиг. 597 даетъ понятіе о соединеніи двухъ телеграфныхъ станцій для взаимной передачи депешъ помощью одной протянутой между ними проволоки. Снаряды изображены въ моментъ когда сигналъ передается съ правой станціи на лѣвую. На правой станціи молоточекъ ключа опущенъ на наковальню и чрезъ то батарея *b* введена въ цѣпь; токъ прохо-



Фиг. 597.

дитъ на лѣвую станцію и намагничиваетъ ее электро-магнитъ *m*.

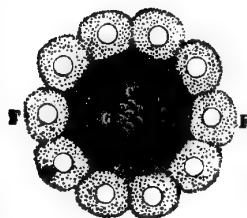
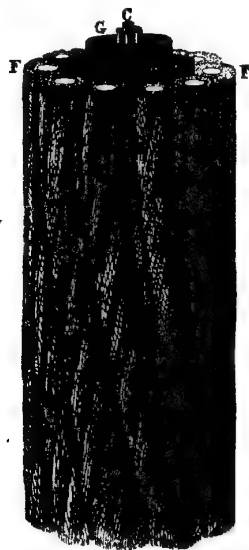
Телеграфная проволока протягивается отъ станціи къ станціи обыкновенно на столбахъ. Такъ какъ она должна быть изолирована, чтобы токъ не уходился въ землю, то она прикрѣпляется къ столбу помощью изолирующихъ колпачковъ или стаканчиковъ (изъ фаянса, стекла и т. под.). Фиг. 598 даетъ понятіе объ одномъ изъ прикрѣпленій этого рода. Проволока употребляется обыкновенно желѣзная (мѣдь лучшій проводникъ и желѣзная проволока должна быть почти въ четверо толще чтобы оказывать то же сопротивленіе какъ данная мѣдная; но мѣдь не употребляется въ надземныхъ проволокахъ по дороговизнѣ матеріала). Телеграфныя проволоки проведенныя подъ землею (проволоки городскихъ телеграфовъ) и тѣмъ болѣе



Фиг. 598.

подводныя телеграфныя проволоки должны быть хорошо изолированы на всемъ протяженіи. Замѣчательный примѣръ подводной проволоки есть телеграфный трансъ-атлантическій канатъ соединяющій Европу съ Америкою и проложенный по дну Атлантическаго океана. Канатъ этотъ имѣетъ около 4000 километровъ длины и состоитъ изъ семи мѣдныхъ проволокъ (фиг. 599 на сл. стр.) образующихъ проводникъ помѣщенный по оси каната. Онъ покрытъ четырьмя слоями гуттаперчи. Снаружи канатъ одѣтъ слоемъ желѣзныхъ проволокъ, покрытыхъ каждая пенькою и улиткообразно огибающихъ канатъ. Эти проволоки назначаются для приданія канату прочности. Слой этотъ весьма тонокъ въ частяхъ каната опущенныхъ въ глубины далеко отстоящія отъ береговъ.

Распространение электричества въ длинныхъ подводныхъ канатахъ представляетъ явленія любопытныя въ теоретическомъ

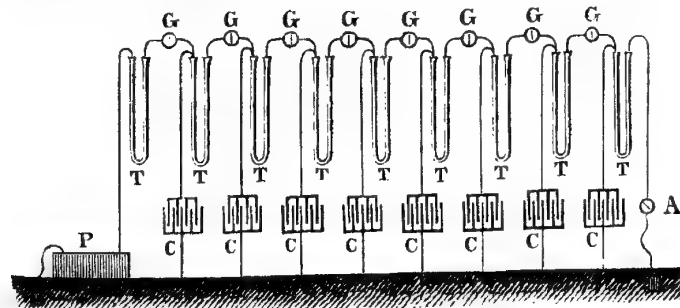


Фиг. 599.

отношеніи и служащія причиною того что для перелачи телеграфныхъ сигналовъ по трансъ-атлантическому канату употребляется метода иная чѣмъ на обыкновенныхъ телеграфныхъ линияхъ. Мѣдная проволока покрытая изолирующимъ слоемъ гуттанерчи представляетъ собою родъ конденсатора или лейденской банки внутреннею обкладкою которой служатъ мѣдь проволоки, наружною желѣзная оправа каната и самая вода омывающая его поверхность. По этой причинѣ слой свободнаго электричества, покрывающій проволоку по которой идетъ токъ, имѣетъ въ этомъ случаѣ значительно большую толщину или плотность чѣмъ слой на поверхности проволоки окруженной воздухомъ: электричество сгущается при поверхности внутренней проволоки какъ при внутренней обкладкѣ банки, будучи привлекаемо противоположнымъ электричествомъ возбужденнымъ чрезъ вліяніе во внешней проводящей оболочкѣ. Потому прежде чѣмъ установится движеніе электричества производящее токъ, проволока должна зарядиться: она должна вновь разрядиться прежде чѣмъ сдѣлается способною принять новый токъ.

Для ближайшаго изученія длиннаго подводнаго каната г. Варлей (Varley) устроилъ снарядъ позволяющій въ кабинетѣ

наблюдать обстоятельства перелачи сигналовъ по длиннымъ подводнымъ линиямъ. Фиг. 600 изображаетъ такой искус-



Фиг. 600.

ственный канатъ Варлея. Онъ состоитъ изъ ряда трубокъ наполненныхъ каждая водою и соединенныхъ проводниками. Каждый такой жидкій столбъ представляетъ очень значительное сопротивление и въ этомъ отношеніи замѣняетъ весьма длинный металлическій проводникъ. Между трубками вставлены гальванометры $G, G...$ Гальванометры соответствуютъ разнымъ пунктамъ или станціямъ каната. Къ трубкамъ присоединяются конденсаторы $C... C...$ или боковые резервуары назначенные для того чтобы обнаружить конденсирующее дѣйствіе каната. Когда пущенъ токъ, стрѣлки гальванометровъ отклоняются; но токъ вначалѣ имѣетъ весьма различную силу въ разныхъ пунктахъ: на ближайшихъ станціяхъ отклоненіе сразу достигаетъ полной величины, тогда какъ на отдаленныхъ еще очень слабо. Затѣмъ отклоненіе послѣдовательно возрастаетъ и на отдаленныхъ станціяхъ, такъ что наконецъ и на самой послѣдней достигаетъ весьма замѣтной величины. Понятно что снарядъ Морза помѣщенный на крайней станціи будетъ дѣйствовать очень медленно, ибо дѣйствіе начнется лишь когда токъ пріобрѣтетъ достаточную силу чтобы коромысло электромагнита было притянуто. Подобнымъ образомъ, когда токъ на первой станціи прерванъ, стрѣлка гальванометра крайней станціи лишь чрезъ пѣкоторое время возвратится въ покой, и коромысло отстанетъ отъ электромагнита.

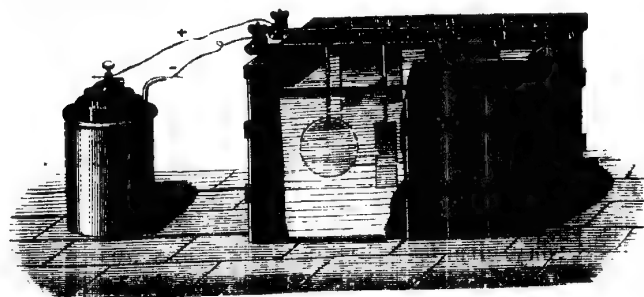
Чтобы устранить медленность въ передачѣ сигналовъ по трансъ-атлантическому канату, сигналы передаются не помощію аппарата Морза, а по системѣ В. Томсона, отклоненіемъ магнитной полосы обмотанной изолированной проволокой и снабженной зеркальцемъ отражающимъ на скалу съ дѣленіями лучъ свѣта идущій отъ лампы (метода подобная указанной на страницѣ 498. только въ проложеніи на экранѣ). Пускается токъ: въ данномъ направленіи и тотчасъ за нимъ другой въ направленіи

противоположномъ. Едва первая волна успѣетъ дать малое отклоненіе стрѣлки, какъ вторая уже нейтрализуетъ состояніе проволоки на всемъ протяженіи. Проволока становится свободною отъ электричества и можетъ передать новый сигналъ. Съ дѣйствительнымъ усовершенствованіемъ этой методы оказалось возможнымъ передавать до 120 сигналовъ въ минуту.

Конденсирующее дѣйствіе подводныхъ канатовъ обнаружилъ еще Фарадей, погрузивъ одинъ изъ такихъ канатовъ первоначальной конструкціи (безъ желѣзной проволоочной оправы, въ смотанной формѣ, въ чанъ съ водою и соединивъ одинъ конецъ съ гальванической батареей, другой оставивъ изолированнымъ (другой полюсъ батареи былъ соединенъ съ землею). Если опустить въ воду чана металлическую палку, держа ее въ одной рукѣ, а другою рукою коснуться свободного конца каната, то получается сотрясеніе какъ отъ разряда лейденской банки.

§ 418. Гальванопластика. Въ элементѣ Даниеля мѣдь выдѣляющаяся дѣйствіемъ тока изъ раствора мѣднаго купороса отлагается на мѣдномъ же электродѣ элемента. Въ 1837 году Якоби (петербургскій академикъ, тогда профессоръ въ Дерптѣ) изслѣдуя пленку такой мѣди осѣвшей на мѣдномъ цилиндрѣ элемента нашелъ что пленка эта сохранила на своей внутренней сторонѣ точный отпечатокъ слѣдовъ рѣзца случайно бывшихъ на томъ мѣстѣ мѣднаго цилиндра гдѣ она образовалась. Это повело къ изобрѣтенію *гальванопластики*, то-есть искусства производить гальваническимъ путемъ,—черезъ разложеніе токомъ мѣднаго купороса,—мѣдные слѣпки разнообразныхъ предметовъ. Желая, на примѣръ, получить точный слѣпокъ какой-либо медали. Предварительно приготавливается слѣпокъ или такъ-называемая форма изъ матеріала способнаго сохранить тончайшія подробности оригинала, на примѣръ, изъ стеарина наливаемого въ разогрѣтомъ состояніи на медаль и легко отстающего при охлажденіи, сохраняя углубленный отпечатокъ оригинала; также изъ воска, гипса, гуттаперчи (разогрѣтой и сильно нажимаемой на оригиналъ). Поверхность формы гдѣ должна осѣсть мѣдь дѣлается проводящею чрезъ натираніе порошкомъ графита.

Затѣмъ форма погружается въ ванну (фиг. 601) съ



Фиг. 601.

растворомъ мѣднаго купороса, помощію металлической перекладки соединенной съ отрицательнымъ полюсомъ гальванической батареи; ея положительный полюсъ сообщается съ другою перекладкой, несущей пластинку мѣди. Купоросъ разлагается, и мѣдь, отлагаясь на отрицательномъ электродѣ, каковымъ служитъ проводящая поверхность формы, образуетъ плотный слой несущій на себѣ рельефный отпечатокъ углубленій формы.

Сосудъ съ растворомъ купороса можетъ служить вмѣстѣ и ванною и гальваническимъ элементомъ. Въ такомъ случаѣ въ растворъ погружаютъ скважистый глиняный сосудъ, какія обыкновенно употребляютъ для элементовъ, наполняютъ его разжиженной серною кислотой и вставляютъ внутрь его амальгмированный кусокъ цинка. Получается полный Даниелевъ элементъ, съ тою лишь разницею что камера содержащая растворъ купороса очень велика. Форма вѣшается на мѣдной проволоки приводимой въ сообщеніе съ цинковымъ кускомъ. Чрезъ это цѣпь замыкается, и токъ, разлагая купоросъ, покрываетъ форму слоемъ мѣди.

На разложеніи солей серебра и золота гальваническимъ токомъ и выдѣленіи этихъ металловъ на

электродъ соединенномъ съ отрицательнымъ полюсомъ батареи основывается *гальваническое серебрение и золочение*,

§ 419. Электричество какъ двигатель: электродвигательныя машины. Изобрѣтатель гальванопластики Якоби одинъ изъ первыхъ стремился осуществить идею машины которая позволяла бы воспользоваться электро-магнетизмомъ въ качествѣ движущей силы. Въ 1838 году Якоби устроилъ на Невѣ лодку на 12 человекъ, приводимую въ движеніе электро-магнитною машиною. Съ тѣхъ поръ много изобрѣтено моделей подобныхъ машинъ, но такъ какъ сила ихъ не значительна, а издержки на гальваническую батарею приводящую ихъ въ дѣйствіе дѣлаютъ электричество слишкомъ дорогимъ двигателемъ, то онѣ не получили практическаго употребленія (за исключеніемъ употребленія при нѣкоторыхъ физическихъ изысканіяхъ научнаго свойства). Всѣ онѣ основываются на намагничиваніи и перемагничиваніи мягкаго желѣза дѣйствіемъ тока. Представимъ себѣ, напримѣръ, два желѣзные цилиндра висящіе на коромыслѣ и погруженные концами въ осевые каналы двухъ электро-магнитныхъ бобинъ. Какъ скоро токъ пущенъ въ проволоку одной изъ нихъ, соответствующій цилиндръ быстро притягивается внутрь бобины и наклоняетъ коромысло въ свою сторону. Но когда онъ свершилъ нѣкоторую долю пути,—сообщеніе съ батареею прерывается, и токъ впускается въ проволоку другой бобины. Она притягиваетъ цилиндръ висящій на другомъ концѣ, и коромысло наклоняется въ ея сторону. Такимъ образомъ можно дать коромыслу качательное движеніе подобное движенію шатуна въ паровой машинѣ и устроить снарядъ въ маломъ видѣ представляющій подобіе этой машины, но приводимый въ движеніе электричествомъ.

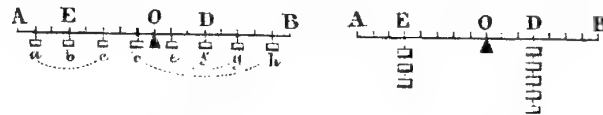
ОТДѢЛЪ ПЯТЫЙ.

ОБЩАЯ ФИЗИКА.

I. Начала механики.

Ученіе о равновѣсіи.

§ 420. Выводъ правила рычага *) по способу Архимеда. Представимъ себѣ математическую линію обремененную одинаковыми и одинаково расположенными грузами какъ на фиг. 602. Подпертая въ сре-



Фиг. 602.

Фиг. 603.

динѣ, эта линія очевидно должна остаться въ равновѣсіи, оказывая на точку опоры *C* давленіе равное суммѣ всѣхъ грузовъ, такъ какъ точка *C* держитъ на себѣ всю ихъ совокупность. Допустимъ далѣе, что *безъ нарушенія равновѣсія* можно каждыя два равные груза замѣнить однимъ равнымъ ихъ суммѣ и привѣшеннымъ въ срединѣ между ними **). Такимъ образомъ два груза *a* и *c* можно снять съ мѣста и привѣсить подъ грузомъ *b*, такъ что въ точкѣ *E* будетъ дѣйствовать тройной грузъ: рычагъ останется въ равновѣсіи. Подобнымъ образомъ грузы

*) О рычагѣ см. въ первомъ отдѣлѣ §§ 8—15.

**) Законность такого допущенія не доказывается, и въ этомъ недостатокъ приводимаго здѣсь доказательства.

d и h , e и g можно, не нарушая равновѣсія, привѣсить подъ грузомъ f , такъ что въ точкѣ D будетъ дѣйствовать пятерной грузъ. Видимъ, слѣдовательно, что пятерной грузъ (фиг. 603) привѣшенный въ точкѣ D уравнивается тройнымъ привѣшеннымъ въ точкѣ E . Видимъ вмѣстѣ съ тѣмъ что разстояние OE относится къ разстоянію OD какъ пять къ тремъ, то-есть плечи обратно пропорціональны величинѣ силъ, что и требовалось доказать.

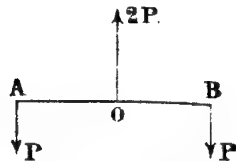
Чтобы сдѣлать выводъ независимымъ отъ числа привѣшенныхъ грузовъ, можно, въ болѣе общемъ видѣ, вмѣсто математической линіи однообразно обремененной грузами, разсматривать однородную *тяжелую* линію (фиг. 604) лежащую срединою на препятствіи O . Линія останется въ равновѣсіи. Каждую часть ея длины можно разсматривать какъ грузъ равный вѣсу этой части и привѣшенный въ ея срединѣ. Раздѣлимъ такую линію AB на двѣ неравныя части AC и CB . Назовемъ вѣсъ CB буквою P , вѣсъ части AC буквою Q . Дѣйствіе части AC можно замѣнить дѣйствіемъ груза равнаго вѣсу этой части и привѣшеннаго въ точкѣ E , срединѣ линіи AC ; дѣйствіе части CB грузомъ равнымъ вѣсу этой части и привѣшеннымъ въ точкѣ D , срединѣ линіи CB .



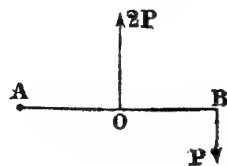
Фиг. 604.

Но $OE = AO - AE = \frac{1}{2}AB - \frac{1}{2}AC = \frac{1}{2}(AB - AC) = \frac{1}{2}CB$
 $OD = OB - DB = \frac{1}{2}AB - \frac{1}{2}CB = \frac{1}{2}(AB - CB) = \frac{1}{2}AC$,
 слѣдов. $OE : OD = CB : AC$. Но такъ какъ $P : Q = CB : AC$, то
 $P : Q = OE : OD$ что и требовалось доказать.

§ 421. Доказательство правила рычага по способу Маклорена.
 Два равные груза P и P на равноплечемъ рычагѣ (фиг. 605)

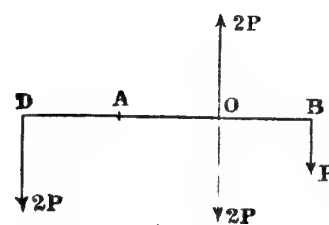


Фиг. 605.

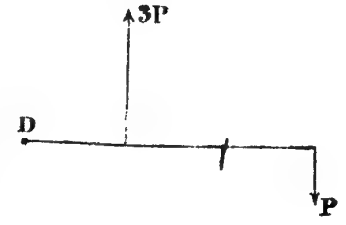


Фиг. 606.

остаются, очевидно, въ равновѣсіи и давить на точку опоры съ силою равною ихъ суммѣ, то-есть $2P$. Потому вмѣсто того чтобы подпирать рычагъ, мы можемъ приложить въ точкѣ O силу $2P$ дѣйствующую вверхъ: рычагъ останется въ равновѣсіи. Равновѣсіе сохранится, если вмѣсто одного изъ грузовъ P помѣстимъ надъ концемъ A неподвижное препятствіе. Но въ такомъ случаѣ будемъ имѣть рычагъ второго рода (§ 14). Видимъ что на рычагѣ этого рода сила приложенная къ концу уравнивается двойною силу приложенную къ срединѣ: силы обратно пропорціональны соответствующимъ плечамъ. Предположая рычагъ продолженнымъ, приложимъ (фиг. 606) въ D и O силы $2P$ и $2P$ дѣйствующія внизъ. Равновѣсіе не нарушится, ибо силы эти взаимно уравниваются около точки опоры A . Но дѣйствующія въ точкѣ O одна противъ другой двѣ силы $2P$ взаимно уничтожаются и потому могутъ быть удалены безъ нарушенія равновѣсія. Остается рычагъ первого рода съ двумя уравнивающимися силами P и $2P$, плечи которыхъ суть AB и $AD = \frac{1}{2}AB$. Такимъ образомъ и на рычагѣ первого рода сила приложенная къ плечу двойной длины уравнивается двойною силу приложенную къ плечу, длина котораго единица. Принявъ въ соображеніе что въ последнемъ изъ разобранныхъ случаевъ точка опоры A испытываетъ давленіе равное вѣсу $3P$, приложимъ въ этой точкѣ силу $3P$, дѣйствующую вверхъ, а точку D , удаливъ грузъ $2P$, удержимъ неподвижнымъ препятствіемъ. Получимъ рычагъ (фиг. 607) второго рода, на которомъ уравнивается сила въ три раза большая силою равною единицѣ, если послѣдняя приложена на разстояніи втрое большемъ отъ точки опоры. Доказательство можно продолжить для случая силы въ 4, 5, 6 и т. д. большей, и слѣдовательно сдѣлать общимъ.



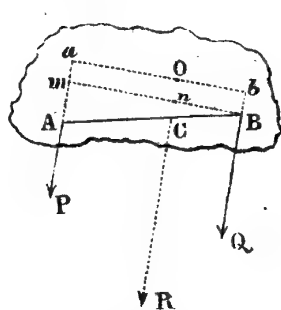
Фиг. 607.



Фиг. 608.

§ 422. Дѣйствіе на тѣло вообще параллельныхъ силъ.
 Мы представляли себѣ рычагъ какъ математическую линію и силы направленными перпендикулярно къ этой линіи. Остановимся на болѣе общемъ случаѣ тѣла могущаго вращаться

около точки O и подверженнаго дѣйствию двухъ параллельныхъ силъ P и Q приложенныхъ (фиг. 609) въ точкахъ A и B . При какихъ условіяхъ тѣло останется въ равновѣсіи? Подъ именемъ *тѣла* будемъ разумѣть то что въ механикѣ именуется *неизмѣняемою системою*, то-есть совокупность материальныхъ точекъ остающихся на неизмѣняющихся разстояніяхъ одна отъ другой. Подъ такое опредѣленіе въ строгомъ смыслѣ подходятъ лишь абсолютно твердое тѣло, такъ какъ всѣ встрѣчающіяся въ природѣ твердыя тѣла могутъ сгибаться, сжиматься и т. д. и слѣд. лишь приблизительно подходятъ подѣ



Фиг. 609.



Фиг. 610.

сказанное опредѣленіе. Тѣло. для простоты разсужденія, предполагаемъ состоящимъ изъ материальныхъ точекъ не имѣющихъ вѣса *.

Чтобы рѣшить предыдущій вопросъ прибѣгнемъ къ слѣдующей теоремѣ: точку приложенія силы (фиг. 610) можно перенести во всякую точку лежащую по ея направленію. Пусть сила приложена въ A . Точку приложенія можно перенести въ B . Дѣйствительно, вообразимъ, что въ точкѣ B приложены въ противоположномъ направленіи двѣ силы p' и p'' равныя между собою и силѣ p . Мы въ правѣ присоединить такія двѣ силы, такъ какъ ихъ дѣйствіе равняется нулю, ибо онѣ взаимно уничтожаются. Но, разсматривая данную силу p и силу p' какъ двѣ равныя силы дѣйствующія на концы линіи AB , видимъ что онѣ взаимно уничтожаются. Слѣдовательно остается сила p'' , равная и одинаково направленная съ силою p , но приложенная въ точкѣ B .

Воспользуемся этимъ правиломъ въ приложеніи къ разсматриваемому нами случаю. Опустимъ (фиг. 609) изъ точки

* При осуществленіи на опытѣ различныхъ случаевъ дѣйствія силъ мы по необходимости должны употреблять тяжелыя тѣла, но узнѣе представить себѣ тѣло безъ вѣса и тяжести какъ вѣдную силу, дѣйствующую на тѣло, — важное условіе для яснаго пониманія истинъ механики.

О перпендикулярѣ ab на направленіе силъ P и Q . Перенесемъ точку приложенія силы Q въ точку m , точку приложенія силы P въ точку b . Получаемъ прямолинейный рычагъ aOb на который дѣйствуютъ силы P и Q . Онѣ будутъ въ равновѣсіи если $P \cdot aO = Q \cdot bO$. Точка O именуется давленіе равное суммѣ силъ $P+Q$ и слѣдов. силы P и Q дѣйствуютъ какъ одна сила R равная ихъ суммѣ и направленная параллельно съ ними. Направленіе силы R пересѣкаетъ линію AB въ точкѣ C , которая, какъ легко доказать, раздѣляетъ линію AB на части обратно пропорціональныя величинѣ силъ P и Q . Дѣйствительно, проведемъ линію Bm параллельно ab и означимъ точку n гдѣ направленіе силы R пересѣкаетъ эту линію, видимъ что части nB и nt линіи Bm равны частямъ Ob и Oa линіи ab , пропорціональны частямъ CB и CA линіи AB . Слѣд. $P \cdot CA = Q \cdot CB$.

Если въ точкѣ C , удовлетворяющей только что выведенному условію, приложить силу равную найденной силѣ R , но направленную въ противоположную сторону, то-есть вверхъ отъ точки C , то сила эта, уничтожая дѣйствіе силы R замѣняющей совокупность силъ P и Q , очевидно, удержитъ тѣло въ равновѣсіи и притомъ независимо отъ того, удержана точка O или нѣтъ. Другими словами сила уравновѣшивающая двѣ другія параллельныя между собою и приложенныя въ нѣкоторыхъ точкахъ A и B равна ихъ суммѣ, параллельна имъ, но направлена въ противоположную сторону и проходитъ чрезъ точку раздѣляющую линію AB на части обратно пропорціональныя величинѣ силъ P и Q .

§ 423. Понятіе о равнодѣйствующей силѣ и силахъ слагающихся. Если одна сила уравновѣшиваетъ собою дѣйствіе какого-нибудь числа силъ приложенныхъ къ системѣ точекъ неизмѣняемо между собою соединенныхъ, то всю совокупность этихъ силъ можно разсматривать какъ одну силу R равную и противоположную первой. Эта сила R называется *равнодѣйствующею* по отношенію къ силамъ которыя она замѣняетъ и которыя именуется ея *составляющими*.

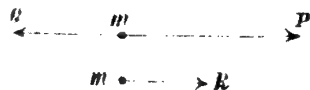
Если на точку m дѣйствуютъ по одному направленію и въ одну сторону двѣ силы P и Q то можно принять какъ аксіому, что *равнодѣйствующія* R равна ихъ суммѣ $R = P + Q$.

Еслибы мы приложили къ точкѣ m силу R' равную по величинѣ силѣ R (фиг. 611), но направленную въ противоположную сторону, то три силы: P , Q и R' остались бы въ равновѣсіи.

Если на точку m действуют двѣ силы: одна P направленная вправо, другая Q по противоположному направленію (фиг. 612), то мы можемъ большую, изъ нихъ, P , замѣнить двумя: одною, равною по ве-



Фиг. 611



Фиг. 612.

личинѣ Q ; другою, равною $P-Q$ (ихъ сумма составляетъ P). Дѣйствіе первой уничтожается дѣйствіемъ силы Q , остается сила $P-Q$, которая, слѣдовательно, и представляеть собою *равнодѣйствующую* силъ P и Q въ этомъ случаѣ. Назвавъ ее R , имѣемъ

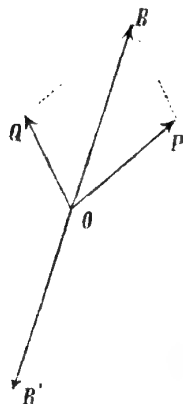
$$R = P - Q.$$

То-есть, равнодѣйствующая равняется разности силъ P и Q и направлена въ сторону большей изъ нихъ.

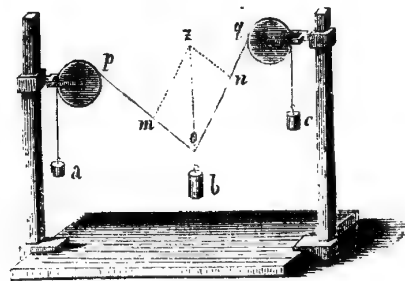
§ 421. *Параллелограммъ силъ.* Наконецъ на точку могутъ дѣйствовать двѣ силы P и Q такъ, что ихъ направленія составляютъ между собою какой-нибудь уголъ. Требуется найти направленіе и величину *одной* силы R , которая, будучи приложена къ этой точкѣ, замѣнила бы собою дѣйствіе нашихъ *двухъ* силъ. Въ механикѣ доказывается, что всегда можно найти такую силу слѣдующимъ построениемъ. Должно на силахъ P и Q построить *параллелограммъ*, проведя (фиг. 613) изъ точки Q линію параллельную силѣ P и изъ точки P , линію параллельную силѣ Q . Діагональ этого параллелограмма представитъ собой направленіе и величину равнодѣйствующей силы. Эта теорема, одинъ изъ главнѣйшихъ теоремъ *статики*, (ученіе о равновѣсіи) называется *правиломъ параллелограмма силъ*.

Если мы приложимъ къ точкѣ O силу R' , равную по величинѣ равнодѣйствующей R , но направленную

въ противоположную сторону, то три силы P , Q и R' останутся въ *равновѣсіи*.



Фиг. 613.



Фиг. 614.

Слѣдующій опытъ можетъ служить къ поясненію правила *параллелограмма силъ* на опытѣ. Въ точкѣ o (фиг. 614) укрѣплены двѣ нити, перекинутыя чрезъ блоки и несущія одна грузъ a , другая грузъ c . Мы можемъ въ точкѣ o привѣсить такой грузъ b , что вся система останется въ равновѣсіи. Грузы a и c тянутъ точку o по направленіямъ oa и oc , и представляють слѣдовательно двѣ силы, дѣйствующія на o подъ угломъ roc ; грузъ b тянетъ точку o внизъ по вертикальному направленію и представляеть третью силу, которая уравниваетъ дѣйствіе двухъ первыхъ. Тогда, отложивъ по направленію линій or и oc длины on и om , которыя относятся между собою какъ величины грузовъ c и a , найдемъ, что направленіе по которому дѣйствуетъ грузъ b , будучи продолжено вверхъ, пойдетъ по діагонали параллелограмма построеннаго на линіяхъ on и om . Эта діагональ oz во столько разъ будетъ болѣе стороны on ,

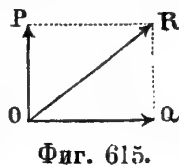
во сколько сила b больше силы a ; и во столько раз больше $от$, во сколько b больше силы a . Другими словами линия oz изображает направление и величину равнодействующей силы.

Если бы на рассматриваемую точку действовали не две, но три, четыре и больше силъ, то и въ такомъ случаѣ мы могли бы по правилу параллелограмма силъ найти ихъ равнодействующую. Соединяя первую силу со второю, получимъ ихъ равнодействующую. Слагая эту послѣднюю съ третьею силою, будемъ имѣть общую равнодействующую трехъ данныхъ силъ и т. д.

Если мы можемъ замѣнить дѣйствіе двухъ силъ одною силою, то, и наоборотъ, можно одну силу замѣнить двумя ея составляющими. Такое разложеніе силъ употребляется весьма часто. Уголъ между этими слагающими можетъ быть произвольный, но онѣ должны быть сторонами параллелограмма, въ которомъ данная сила должна представлять діагональ.

Наконецъ, данную силу можно разложить не только на две, но и на какое угодно число составляющихъ силъ.

Обыкновенно разлагаютъ силу на две перпендикулярныя между собою силы. Въ такомъ случаѣ равнодействующая OR или R есть гипотенуза (фиг. 615) прямоугольнаго треугольника ROP , котораго катеты представляютъ величину составляющихъ. Слѣдов., назвавъ силы OP и OQ буквами P и Q будемъ имѣть



Фиг. 615.

$$R^2 = P^2 + Q^2 \text{ или } R = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Уголъ α , который равнодействующая дѣлаетъ съ одною изъ силъ, напримѣръ съ P , выводится изъ того же треугольника дающаго

$$\tan \alpha = \frac{RP}{OP} = \frac{Q}{P}$$

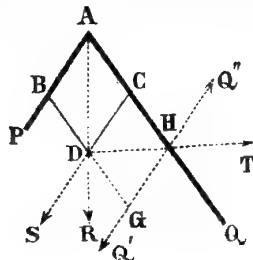
Наконецъ величина слагающихъ P и Q выражается

$$P = R \cdot \cos ROP = R \cdot \cos \alpha$$

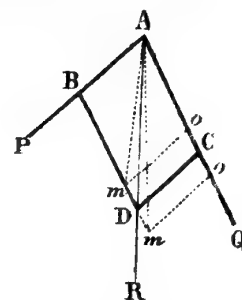
$$Q = R \cdot \cos ROQ = R \cdot \sin \alpha$$

Слѣдовательно каждая составляющая равна равнодействующей помноженной на косинусъ угла, заключающагося между ними.

§ 425. Доказательство правила параллелограмма силъ по способу Пуансо. Построимъ параллелограммъ на силахъ P и Q , приложенныхъ въ точкѣ A и относящихся между собою какъ длины линий AB и AC . Отложимъ на продолженіи линіи BD (фиг. 616) часть $DG = DC$ и начертимъ ромбъ $DGHG$. Приложимъ въ точкахъ G и H , въ направленіи GH , две силы Q' и Q'' противоположныя одна другой и равныя между собою и съ силою Q . Легко видѣть что равнодействующая четырехъ силъ P, Q, Q', Q'' должна пройти чрезъ точку D . Ибо 1) по причинѣ $Q' = Q$ две параллельныя силы P и Q' должны относиться между собою какъ стороны AB и AC или какъ DC и DB , или наконецъ, по причинѣ $DC = DG$, какъ линіи DG и DB ; а слѣдовательно ихъ равнодействующая S должна проходить чрезъ D ; 2) такъ какъ две силы Q и Q'' равны между собою, то равнодействующая ихъ T , будучи продолжена, должна (очевидно) раздѣлять на две равныя части уголъ CHG ромба $CDGH$ и слѣдов. также проходить чрезъ точку D , гдѣ и можно вообразить ее приложенною. Итакъ общая равнодействующая, — какъ равнодействующая силъ S и T , — должна проходить чрезъ точку D . Но такъ какъ две силы Q' и Q'' приложенныя по GH равны и противоположны, то онѣ взаимно уничтожаются, и равнодействующая четырехъ силъ тождественна съ равнодействующею двухъ силъ P и Q . Слѣдов., поелику первая проходитъ чрезъ D , равнодействующая силъ P и Q должна проходить чрезъ ту же точку. Проходя заразъ чрезъ точки A и D , равнодействующая необходимо должна быть направлена по діагонали AD .



Фиг. 616.



Фиг. 617.

Отсюда слѣдуетъ что если мы знаемъ только направленіе двухъ силъ P и Q , да направленіе ихъ равнодействующей R , то можемъ опредѣлить отношеніе величины силы P къ величинѣ силы Q . Дѣйствительно, взявъ (фиг. 617) за направленіи равнодействующей какую-нибудь точку D и проведя изъ этой точки линіи DC и DB , параллельныя направленіямъ слагающихъ P и Q и встрѣчающія эти направленія въ C и B , необходимо

$$\frac{an}{P} = \frac{on}{p} \text{ и } \frac{nb}{Q} = \frac{mn}{q}$$

$$\text{или } P \cdot on = p \cdot an \text{ и } Q \cdot mn = q \cdot nb.$$

Но такъ какъ вторыя части этихъ уравненій по предыдущему равны между собою, то

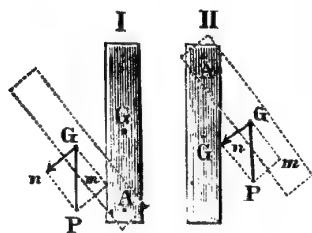
$$P \cdot on = Q \cdot mn.$$

То-есть, произведенія силъ на перпендикуляры олуценные изъ точки опоры на направленія этихъ силъ, въ случаѣ равновѣсія, должны быть равны между собою.

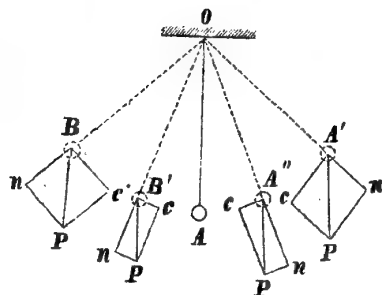
Эти произведенія называются *моментами силъ*. Слѣдовательно условіе равновѣсія силъ P и Q на рычагѣ состоитъ въ томъ, что *ихъ моменты должны быть равны между собою*.

3) *Приложеніе къ случаю устойчиваго и неустойчиваго равновѣсія.* Когда тѣло качающееся на оси A и котораго центръ тяжести ниже точки привѣса, выведено изъ положенія равновѣсія (фиг. 621, II), то его вѣсъ можно представить себѣ разложеннымъ на двѣ силы. Одна изъ нихъ Gm уничтожается сопротивленіемъ оси, повинуюсь другой Gn , означенной на чертежѣ стрѣлкою, тѣло приходитъ въ движеніе и возвращается въ вертикальное положеніе.

Если центръ тяжести выше оси A (фиг. 621, I), то повинуюсь составляющей, означенной стрѣлкою, тѣло падаетъ, удаляясь отъ положенія равновѣсія.



Фиг. 621.



Фиг. 622.

4) *Приложеніе къ опредѣленію силы гонящей маятникъ къ положенію равновѣсія.* На простой маятникъ выведенный изъ положенія равновѣсія до положенія A' (фиг. 622) дѣйствуетъ сила тяжести по вертикальному направленію. Разложимъ эту силу на двѣ: $A'n$ и $A'c$. Первая уничтожается сопро-

тивленіемъ точки привѣса и производить только натяженіе нити. Повинуясь дѣйствію второй, тѣло придетъ въ движеніе, описывая дугу и приближаясь къ вертикальной линіи OA . Во всякомъ новомъ положеніи A'' сила тяжести продолжаетъ дѣйствовать, но разлагая ее на двѣ, найдемъ, что величина составляющей, отъ которой зависитъ движеніе по дугѣ, будетъ при A'' менѣе, чѣмъ при A' (при A' эта составляющая была $A'c$, при A'' это $A''c$). Вообще эта составляющая тѣмъ менѣе, чѣмъ ближе наша точка приближается къ вертикальному положенію. Но движеніе постепенно ускоряется, ибо къ скорости, сохраняющейся по инерціи, постоянно прибавляется новое приращеніе. При A маятникъ имѣетъ наибольшую скорость. Хотя въ этомъ положеніи на него по направленію движенію не дѣйствуетъ никакая сила, онъ не можетъ остаться въ покое, такъ какъ имѣетъ уже приобретенную скорость. Въ этотъ моментъ онъ представляетъ собою родъ брошеннаго тѣла, которое двигалось бы по горизонтальному направленію, еслибы не было нити, его удерживающей. Поднимаясь, тѣло будетъ принимать вѣсво отъ вертикальной линіи такія же положенія, какія оно имѣло вправо. Составляющая тяжести будетъ дѣйствовать *противоположно* направленію движенія; скорость движенія будетъ послѣдовательно уменьшаться до положенія B . Въ положеніи B скорость будетъ равна нулю, но такъ какъ тяжесть продолжаетъ дѣйствовать, то тѣло не остановится въ этомъ положеніи, но будетъ возвращаться слѣва вправо и т. д.

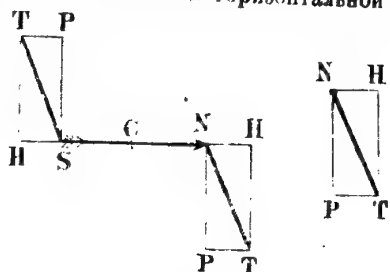
Легко выразить самую величину составляющей дѣйствующей по направленію движенію. Назовемъ уголъ отклоненія маятника буквою φ (въ положеніи A' уголъ $\varphi = A'OA$, въ положеніи A'' уголъ $\varphi = A''OA$ и т. д.); мы видимъ что составляющая $A'c = A'P \cdot \sin A'OA$; составляющая $A''c = A''P \cdot \sin A''OA$. Вообще, назвавъ всю силу тяжести буквою P , ея составляющую и дѣйствующую по направленію движенія буквою F , будемъ имѣть.

$$F = P \cdot \sin \varphi.$$

Чѣмъ менѣе φ тѣмъ менѣе F . Въ вертикальномъ положеніи $\varphi = 0$; имѣемъ $F = 0$.

5) *Приложеніе къ случаю дѣйствія земли на магнитную стрѣлку.* Представимъ себѣ магнитную стрѣлку (фиг. 623) подпертую въ ея центрѣ тяжести C и помѣщенную въ плоскости магнитнаго меридіана (за таковую примемъ плоскость чертежа). Линія NT пусть изображаетъ направленіе и величину силы съ какою земной магнетизмъ дѣйствуетъ на сѣверный полюсъ стрѣлки N . Линія ST параллельная линіи NT изобразитъ въ такомъ случаѣ дѣйствіе земли на южный полюсъ. Разложимъ силу NT на двѣ: горизонтальную составляющую NH и вертикальную NP . Уголъ TNH есть уголъ наклоненія, который назовемъ буквою.

Видно, что $NH = NT$. соотв. формула позволяющая по данному наклонению и величине горизонтальной составляющей



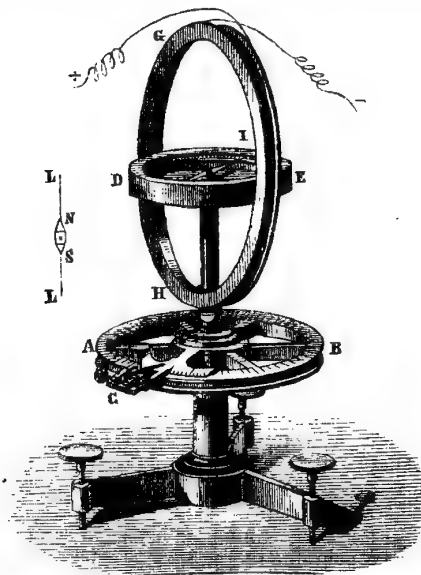
Фиг. 623.

земного магнетизма найти величину полной силы NT . Силы NH и SH , при горизонтальном положении стрелки в меридиане, взаимно уничтожаются; вертикальные NP и SP стремятся наклонить стрелку северным концом книзу (если стрелка свободна, то она действительно наклоняется до тех пор пока примет направление параллельное с направлением полной силы). Если хотим, не смотря на действие вертикальных составляющих, сохранить стрелку в горизонтальном положении, то должны или обременить южную половину стрелки CS небольшим грузом (если груз поместим в самом полюсе S , то он должен равняться двойной величине вертикальной составляющей) или подпереть стрелку не в центре тяжести, а несколько ближе к концу N .

Допустим теперь что стрелка подперта в центре тяжести поставлена в плоскости перпендикулярной к плоскости магнитного меридиана (за каковую будем продолжать принимать плоскость чертежа) и может обращаться только в той плоскости, в которой поставлена (так будет если, например, плоскость компаса наклонена, фиг. 452, поставлена перпендикулярно магнитному меридиану). На чертеже изобразим северный полюс N (воображая стрелку сзади плоскости чертежа). Направление действия земли изобразится линией NT как на предыдущей фигуре. Горизонтальная составляющая NH , как и параллельная ей действующая на южный полюс, не могут произвести действия, ибо стрелка, как сказано, может обращаться только в плоскости перпендикулярной меридиану. Остаются вертикальные составляющие, которые и приводят стрелку в вертикальное положение, так что угол наклона сдвигается равным 90° .

6) Приложение к случаю измерения силы гальванического тока помощью спиральной именуемой тангенс-буссоли и синус-буссоли. Фиг. 624 изображает спираль который можно употребить в качестве как тангенс-буссоли так и синус-буссоли.

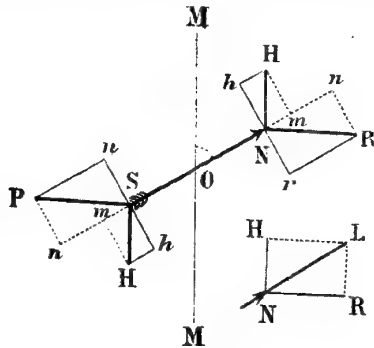
В центре кольца обмотанного изолированной ою. довольно толстою проволокой помещается на острие или вставляется на нити)



Фиг. 624.

короткая магнитная полоска с указателями позволяющими измерять ее отклонения помощью раздвоенного круга. Кольцо устанавливается первоначально в плоскости магнитного меридиана: плоскость кольца совпадает следовательно с направлением стрелки. Но как скоро в проволоку пропущен ток, стрелка отклоняется и устанавливается в новом положении равновесия (ток предполагаем постоянным), образуя с меридианом некоторый угол φ . Не трудно доказать что сила тока пропорциональна тангенсу этого угла. Допустим что на фиг. 625 MM есть плоскость меридиана, NS направление отклоненной стрелки, угол $MON = \varphi$. На полюс N действуют две силы: сила земного магнетизма NH и сила с какою ток действует на полюс N . Согласно закону действия тока на магнитную частицу или магнитный полюс, сила эта, в случае когда частица или полюс находится в плоскости тока, перпендикулярна к этой плоскости. Потому, когда стрелка была в меридиане, направление силы тока было перпендикулярно к плоскости кольца. Если стрелка весьма коротка, то направление это не могло много измениться и при

отклоненномъ положеніи стрѣлки, ибо, вслѣдствіе ея малыхъ размѣровъ, удаленіе полюсовъ отъ плоскости кольца самое не-



Фиг. 625.

значительное. Потому допустимъ, что и при отклоненномъ положеніи стрѣлки сила тока стремящаяся удалить ее отъ плоскости меридіана направлена перпендикулярно къ нему, слѣд- на чертежѣ можетъ быть изображена линією NR перпендикулярною къ MM . Разлагаемъ каждую изъ силъ NH и NR на двѣ: по направленію отклоненной стрѣлки и перпендикулярно къ ней. Составляющія по направленію стрѣлки не имѣютъ вліянія на отклоненіе и тянутъ стрѣлку вдоль, причемъ ихъ дѣйствіе уничтожается противоположнымъ дѣйствіемъ таковыхъ же соответствующихъ полюсу S . Остаются, при точкѣ N , силы Nh и Nr . Если эти силы равны между собою, то стрѣлка остается въ покоѣ (при равенствѣ Nh и Nr , силы Sh и Sr также равны). Итакъ условіе равновѣсія стрѣлки въ томъ чтобы $Nh = Nr$. Но

$$Nh = NH \cdot \cos HNh = NH \cdot \sin HNs = NH \sin \varphi$$

$$Nr = NR \cdot \cos RNr = NR \cdot \cos \varphi$$

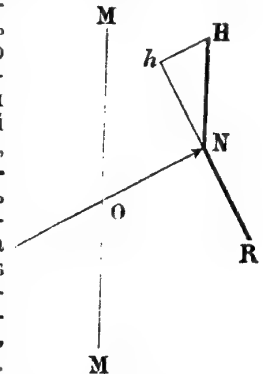
Слѣдов. $NH \cdot \sin \varphi = NR \cdot \cos \varphi$ или $NR = NH \cdot \tan \varphi$

Назвавъ $NR = i$ (сила тока); $NH = H$ (гориз. составл. земнаго магнетизма) имѣемъ $i = H \cdot \tan \varphi$ *)

*) Тотъ же выводъ можно слѣдять иначе, рассуждая такъ: Стрѣлка остается въ покоѣ, если направленіе равнодѣйствующей NL (какъ изображено на отдѣльной малой фигурѣ внизу чертежа) силъ NR и NH будетъ совпадать съ направленіемъ стрѣлки, такъ что уголъ $HNL = \varphi$. Но $LH : HN = i : H = \tan HNL = \tan \varphi$. Слѣд. $i = H \cdot \tan \varphi$.

Сила тока пропорціональна тангенсу угла отклоненія стрѣлки. Показанія сваярда зависятъ отъ величины H , но, въ данномъ мѣстѣ наблюденія величину эту можно считать достаточною постоянной. Отъ степени намагниченія стрѣлки показанія не зависятъ, ибо если замѣнимъ данную стрѣлку другою, болѣе намагниченною, то обѣ силы i и H увеличатся въ одинаковой пропорціи, и отношеніе ихъ останется то же самое.

Перейдемъ къ употребленію снаряда въ качествѣ синусъ-буссоли. Въ этомъ случаѣ нѣтъ надобности чтобы стрѣлка была короткая, ибо плоскость кольца приводить въ совпаденіе съ ея направленіемъ при новомъ ея положеніи. А именно какъ скоро стрѣлка отклонилась, плоскость кольца поворачиваютъ, слѣдуя за нею. При этомъ токъ огибающій кольцо продолжаетъ отклонять стрѣлку, но если онъ не очень силенъ, то кольцо догонитъ стрѣлку, и она останется въ равновѣсіи, вновь находясь въ плоскости кольца. При такомъ положеніи на конецъ N (фиг. 626) дѣйствуютъ двѣ силы: сила земли NH параллельно меридіану MM и сила тока NR перпендикулярно направленію стрѣлки (такъ какъ оно совпадаетъ съ плоскостію кольца). Условіе равновѣсія, очевидно, въ томъ чтобы слагающая Nh силы NH уравновѣшивалась съ силою тока NR , то-есть чтобы $Nh = NR = i$.



Фиг. 626.

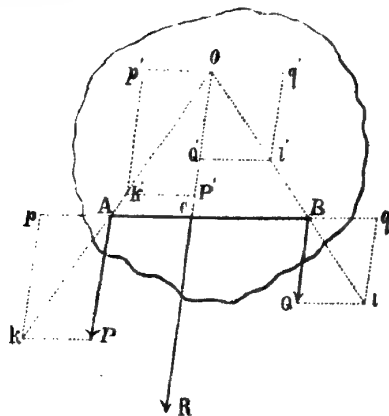
Но $Nh = NH \cdot \cos HNh = H \cdot \sin \varphi$. Слѣд. $i = H \cdot \sin \varphi$.

Сила тока пропорціональна синусу угла отклоненія. Этотъ уголъ измѣряется помощью нижняго горизонтальнаго круга показывающаго на сколько градусовъ повернуто кольцо.

§ 427. Разрѣшеніе вопроса о сложеніи силъ параллельныхъ между собою, основанное на теоремѣ о параллелограммѣ силъ. Вообразимъ, что въ точкахъ A и B , гдѣ приложены силы P и Q (фиг. 627), мы приложили еще двѣ силы — одну q , другую p , равныя и противоположныя между собою. Такъ какъ двѣ эти силы, будучи равными, взаимно уничтожаются, то ихъ присутствіе ничего не измѣнитъ въ состояніи тѣла. Но въ такомъ случаѣ можно силы Q и q сложить въ одну силу, изображенную на чертежѣ линією Bl и которую будемъ называть одною буквою k ; точно также силы P и p можно сложить въ одну силу k .

Перенеся точки приложенія силъ k и l по направленію ихъ дѣйствія въ точку O , будемъ имѣть, вмѣсто параллельныхъ силъ P и Q , силы l' и k' , дѣйствующія подъ угломъ. При точкѣ

О опять разложимъ каждую изъ силъ P' и Q' на ихъ прежнія составляющія, которыя теперь означимъ буквами Q, q' и P, p' .



Фиг. 627.

Силы p' и q' при точкѣ O уничтожаются взаимно, и остаются двѣ силы P' и Q' дѣйствующія по одному направленію. Такимъ образомъ дѣйствіе данныхъ силъ P и Q можно замѣнить дѣйствіемъ равныхъ имъ силъ P' и Q' , приложенныхъ въ одной точкѣ O , и дѣйствующихъ по одному направленію, параллельному направленію данныхъ силъ. Ихъ равнодѣйствующая равна ихъ суммѣ. Ея точку приложенія, находящуюся въ O , можно перенести въ C .

Легко видѣть что точка C должна удовлетворять условію:

$$P \cdot AC = Q \cdot BC.$$

Дѣйствительно, изъ подобія треугольниковъ OPQ' и OCQ имѣемъ:

$$\frac{OP}{OC} = \frac{PQ'}{QC} \text{ или } \frac{P}{OC} = \frac{p'}{QC}. \text{ Слѣдов.}$$

$$P' \cdot AC = p' \cdot OC.$$

Изъ подобія треугольниковъ $OQ'P'$ и OCB имѣемъ:

$$\frac{OQ'}{OC} = \frac{Q'P'}{CB} \text{ или } \frac{Q'}{OC} = \frac{q'}{CB}. \text{ Слѣдов.}$$

$$Q' \cdot CB = q' \cdot OC.$$

Но $p' = q'$; слѣдовательно:

$$P' \cdot AC = Q' \cdot CB.$$

или, такъ какъ

$$P' = P \text{ и } Q' = Q$$

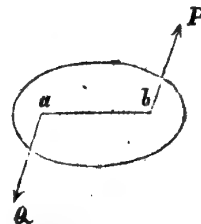
$$P \cdot AC = Q \cdot CB$$

что и требовалось доказать.

Если на тѣло дѣйствуетъ цѣлая система параллельныхъ силъ, то ихъ можно соединить въ одну равнодѣйствующую, равную, по величинѣ, ихъ суммѣ. Точка приложенія этой равнодѣйствующей имѣетъ любопытное свойство. Еслибы направленіе силъ измѣнилось, по отношенію къ тѣлу, но онѣ остались бы параллельными между собою и сохранили ту же величину, то новая равнодѣйствующая прошла бы чрезъ ту же точку какъ прежняя. Точка эта потому и называется *центромъ параллельныхъ силъ*.

Тяжесть дѣйствуетъ на частицы тѣла по направленіямъ которыя можно считать параллельными между собою. Величина равнодѣйствующей этихъ параллельныхъ силъ есть то что мы называемъ *вѣсомъ* тѣла. Точка приложенія этой равнодѣйствующей есть *центр тяжести* тѣла. Центр тяжести есть центръ параллельныхъ силъ и потому положеніе его относительно другихъ точекъ тѣла не мѣняется какъ бы мы ни помѣстили тѣло. Центр тяжести имѣетъ въ данномъ тѣлѣ совершенно определенное положеніе.

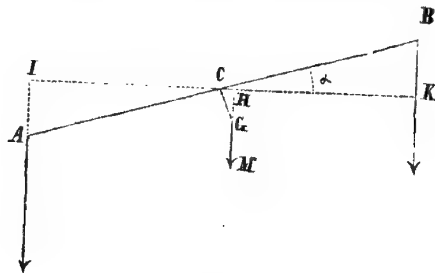
Присоединимъ еще, что двѣ силы, равныя, параллельныя, но направленные (Фиг. 628) въ разныя стороны, будучи приложены къ тѣлу, не могутъ быть уравновѣшены какою-нибудь третьею силою, слѣдов. не имѣютъ равнодѣйствующей. Такая система двухъ равныхъ силъ называется *парою силъ*. Къ парѣ силъ приводится, напримѣръ, дѣйствіе земли на магнитную стрѣлку.



§ 428. Теорія чувствительности вѣсовъ. Коромысло вѣсовъ можно разсматривать, какъ *прямоугольный рычагъ* (Фиг. 629). Этотъ рычагъ имѣетъ точку опоры въ C и на него дѣйствуютъ три силы: двѣ въ точкахъ A и B (вѣсъ грузовъ) и третья вѣсъ самаго коромысла, который можно разсматривать какъ силу приложенную въ точкѣ G , представляющей собою центр тяжести коромысла.

Фиг. 628.

Если грузы, действующие на точки A и B не одинаковы, одинъ, напримеръ, равенъ P , другой $P + p$, то большая сила перетянетъ, и рычагъ наклонится въ ея сторону. Если разность грузовъ p не велика, то рычагъ устанавливается въ новомъ положеніи равновѣсія при которомъ силы P , $P + p$ и вѣсъ коромысла уравниваются взаимно. Въ новомъ положеніи рычагъ дѣлаетъ съ горизонтомъ уголъ $BCK = \alpha$, ко-



Фиг. 629.

торый тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше разность вѣса p . Для одной и той же разности p уголъ отклоненія α на различныхъ вѣсахъ будетъ различенъ и величину этого угла можно принять за *мѣру чувствительности* вѣсовъ.

Не трудно вывести зависимость величины угла α отъ длины коромысла, его вѣса и отъ близости центра тяжести коромысла къ точкѣ опоры.

Сила P , действующая въ точкѣ B и равная ей часть силы действующей въ точкѣ A , даютъ равнодействующую, проходящую чрезъ точку опоры C и уничтожающуюся сопротивленіемъ этой послѣдней. Такимъ образомъ условіе равновѣсія зависитъ отъ силы p , действующей на точку A и отъ вѣса коромысла, который приложенъ въ точкѣ G и котораго величину назовемъ M . Мы можемъ p и M разсматривать какъ силы действующія на ломаный рычагъ ACG . Перенеся точки приложенія этихъ силъ въ I и H , видимъ что условіе равновѣсія есть равенство моментовъ

$$P \cdot CI = M \cdot CH$$

Назвавъ длину плечъ рычага буквою l , разстояніе CG центра тяжести коромысла отъ точки опоры λ , видимъ, что

$$CH = \lambda \cdot \sin \alpha; \quad CI = l \cdot \cos \alpha,$$

отсюда

$$pl \cdot \cos \alpha = M \lambda \cdot \sin \alpha.$$

Или

$$\tan \alpha = \frac{pl}{M \lambda}.$$

Такъ какъ уголъ отклоненія α обыкновенно малъ, то можно тангенсъ его считать пропорціональнымъ дугѣ и принять его за мѣру чувствительности. Слѣдов. чувствительность прямо пропорціональна длине коромысла, а обратно пропорціональна вѣсу коромысла и разстоянію его центра тяжести отъ точки опоры. Вместе съ тѣмъ видимъ, что она не зависитъ отъ абсолютной величины грузовъ, положенныхъ на чашки, ибо ихъ величина P не входитъ въ предыдущую формулу.

Не должно забывать, что при выводѣ этой формулы, кромѣ равенства плечъ, мы допустили еще что точки A , B , C лежатъ на одной прямой линіи. Еслибы точки A , B и C не лежали на одной прямой линіи, то условіе равновѣсія было бы сложнее и въ формулу, выражающую величину тангенса угла отклоненія, вошла бы величина P , и слѣдовательно чувствительность измѣнялась бы въ зависимости отъ величины грузовъ которыми обременены чашки вѣсовъ.

Ученіе о движеніи разсматриваемомъ независимо отъ производящихъ его силъ.

§ 429. Движеніе равномерное. Скорость въ движеніи этого рода. Движеніе тѣла называется *равномернымъ* если это тѣло въ равные, произвольно выбранные, промежутки времени проходитъ равныя пространства. Положимъ для примѣра, что нѣкоторое тѣло движется такъ, что во всякія двѣ секунды проходитъ по пяти метровъ. Его движеніе равномерно, если, проходя въ двѣ секунды по пяти метровъ, оно въ продолженіи одной секунды проходитъ $2\frac{1}{2}$ метра, въ пол-секунды $1\frac{1}{4}$ метра и т. д. Но если, проходя по пяти метровъ во всякія двѣ секунды, тѣло въ продолженіи этого промежутка времени движется неравномерно (например, въ началѣ медленно, потомъ быстрее, потомъ опять медленно), то такое движеніе называется *периодическимъ*. Поэтому при опредѣленіи равномернаго движенія мы прибавили, что тѣло проходитъ равныя пространства въ равные, произвольно выбранные промежутки времени.

Другими словами эту мысль можно выразить, сказавъ, что въ равномерномъ движеніи пройденное про-

странство возрастает пропорционально протекшему времени.

Скоростью въ движеніи равномерномъ называется пространство, проходимое тѣломъ въ единицу времени. Если одно тѣло проходитъ въ минуту 60 метровъ, а другая въ то же время 120 метровъ, то мы говоримъ, что скорость первого вдвое меньше скорости второго.

Вообще, назвавъ пройденное пространство буквою s , время t и скорость v , можемъ выразить законъ равномернаго движенія формулою

$$s = v \cdot t$$

изъ которой по даннымъ двумъ величинамъ всегда можно найти третью.

§ 429. Движеніе *перемѣнное*. Что значить *скорость въ перемѣнномъ движеніи*. Движеніе, въ которомъ пространство возрастаетъ не пропорционально времени, называется *перемѣннымъ*. Можно вообразить безчисленное множество случаевъ перемѣннаго движенія.

Понятіе *скорости* въ перемѣнномъ движеніи имѣтъ другое значеніе, чѣмъ въ равномерномъ. Скорость перемѣннаго движенія не есть величина постоянная; потому здѣсь трактуется не объ общей скорости движенія, а о скорости соответствующей данной точкѣ пути или данному моменту движенія.

Общеупотребительный способъ выражать скорость движенія желѣзнодорожнаго поѣзда соответствующую данному моменту, даетъ ясное представленіе о томъ какъ понимается скорость въ перемѣнномъ движеніи. Мы говоримъ что поѣздъ въ данный моментъ ѣдетъ со скоростью 60 верстъ въ часъ, въ другой моментъ со скоростью 40 верстъ въ часъ и т. под. Это не значитъ что поѣздъ действительно цѣлый часъ двигался съ посто-

янною скоростью и прошелъ 60 или 40 верстъ. Скорость въ теченіе не только часа, но нѣсколькихъ минутъ могла измѣниться, но мы все-таки относимъ ее къ часу какъ избранной единицѣ времени, подразумевая что еслибы поѣздъ съ даннаго момента продолжалъ движеніе съ тою именно скоростью какую имѣлъ въ этотъ моментъ, то въ часъ прошелъ бы 60 или 40 верстъ. О величинѣ этой скорости заключаемъ такъ. Наблюдаемъ какое пространство проходить поѣздъ въ продолженіе времени весьма малаго сравнительно съ принятою единицею, напримѣръ, въ одну, полторы, двѣ минуты, и принимаемъ въ соображеніе что скорость поѣзда въ продолженіе таковаго малаго времени замѣтно измѣниться не могла, и движеніе можно слѣдовательно разсматривать какъ равномерное. Но если тѣло въ одну шестидесятую долю часа проходитъ версту, то въ часъ прошло бы 60 верстъ; если въ одну шестидесятую оно оно проходитъ $\frac{1}{3}$ версты, то въ часъ прошло бы $\frac{1}{3} : \frac{1}{60} = 40$ верстъ. То-есть, согласно закону равномернаго движенія, скорость получается какъ частное отъ дѣленія пространства пройденнаго въ малое разсматриваемое время на величину этого времени. Въ строгомъ смыслѣ найденная такимъ образомъ скорость не есть истинная скорость соответствующая данному моменту, ибо и въ краткій разсматриваемый промежутокъ скорость могла нѣсколько измѣниться. Но чѣмъ меньше возьмемъ промежутокъ, тѣмъ ближе подойдемъ къ величинѣ *истинной* скорости, которая и есть такимъ образомъ предѣлъ скорости определенной чрезъ дѣленіе пространства пройденнаго въ малый промежутокъ времени на это время и именуемой *среднею* скоростью соответствующей этому промежутку. Если извѣстенъ законъ связывающій въ данномъ случаѣ проходимое пространство

и время, то этот предѣлъ можетъ быть опредѣленъ вычисленіемъ.

Представимъ себѣ, что все время движенія нашего тѣла раздѣлено на опредѣленные промежутки и для каждаго промежутка найдена соответствующая средняя скорость. Пусть нѣкоторое воображаемое тѣло начинаетъ движеніе въ одно время съ нашимъ и движется въ каждый промежутокъ времени со среднею скоростью, равную соответствующую этому промежутку, то такое тѣло должно встрѣчаться съ нашимъ въ началѣ и въ концѣ каждаго промежутка времени. Чѣмъ меньше мы вообразимъ эти промежутки, тѣмъ чаще будутъ происходить встрѣчи, и тѣмъ болѣе движеніе воображаемого тѣла будетъ приближаться къ дѣйствительному движенію нашего тѣла. Движеніе нашего тѣла можно разсматривать какъ предѣлъ движенія состоящаго изъ ряда равномерныхъ движеній, непрерывно слѣдующихъ одно за другимъ. Другими словами эту мысль можно выразить такъ: всякое перемѣнное движеніе въ продолженіи очень короткаго времени можно разсматривать какъ равномерное.

Зная законъ движенія по отношенію къ проходимому пространству, можно вывести законъ измѣненія *средней скорости* продолженія движенія; вообразивъ же промежутки меньше и меньше, и переходя къ предѣлу, можно угадать законъ измѣненія самой истинной *скорости*. Формула, выражающая этотъ законъ, позволитъ для всякаго времени найти соответствующую скорость.

Предыдущее разсужденіе будетъ яснѣе въ приложеніи къ какому-нибудь частному случаю. Вообразимъ, напримѣръ, слѣчай движенія въ которомъ пространство возрастаетъ пропорціонально квадрату времени (законъ паденія тѣла), такъ что, если въ продолженіе одной секунды движущаяся точка прошла пространство a , то пространство пройденное въ двѣ секунды, будетъ $4a$, въ три секунды $9a$ и т. д. Вообще пространство e , пройденное въ продолженіе времени t , будетъ во столько разъ болѣе или меньше пространства a , пройденнаго въ одну секунду, во сколько t^2 болѣе или меньше единицы. Слѣдовательно,

$$\frac{e}{a} = \frac{t^2}{1} \text{ или } e = at^2$$

Эта формула выражаетъ законъ пространства въ разсматриваемомъ случаѣ движенія, называемомъ *движеніемъ равноускореннымъ*.

Опредѣлимъ *среднюю скорость* для какаго-нибудь промежутка времени τ . Пусть этотъ промежутокъ слѣдуетъ непосредственно послѣ конца времени t . Чтобы найти среднюю скорость, соответствующую этому промежутку τ , опредѣлимъ

во-первыхъ пространство, пройденное въ продолженіе времени t . Оно будетъ at^2 ; затѣмъ найдемъ пространство пройденное въ продолженіе времени $t+\tau$; оно будетъ $a(t+\tau)^2$. Разность этихъ величинъ представитъ пространство s , пройденное въ продолженіе промежутка τ . Будемъ имѣть

$$s = a[t+\tau]^2 - at^2 = 2at\tau + a\tau^2$$

Раздѣливъ это пространство на величину самаго времени τ , получимъ величину *средней скорости*, соответствующей промежутку времени τ :

$$\frac{s}{\tau} = 2at + a\tau.$$

Эта формула показываетъ какъ средняя скорость измѣняется въ зависимости отъ времени. Другими словами она выражаетъ законъ *средней скорости*. Легко видѣть, что чѣмъ меньше становится τ , тѣмъ меньше будетъ членъ $a\tau$; и слѣдов. по мѣрѣ уменьшенія τ , предыдущее выраженіе болѣе и болѣе приближается къ величинѣ $2at$, потому

$$\text{въ предѣлѣ } \frac{s}{\tau} = 2at$$

Но предѣлъ выраженія $\frac{s}{\tau}$ есть то чтѣ мы называли *скоростью* перемѣннаго движенія въ концѣ времени t . Итакъ эта скорость v выразится формулою

$$v = 2at.$$

Слѣдовательно *скорость возрастаетъ пропорціонально времени*. Такимъ образомъ, зная пространство проходимое въ продолженіе первой секунды движенія, мы можемъ, въ разсматриваемомъ нами случаѣ перемѣннаго движенія, опредѣлить не только пространство пройденное въ продолженіе какаго-нибудь времени t , но и скорость, соответствующую концу этого времени. Если напр. пространство $a=5$ метрамъ, то скорость въ концѣ 3-й секунды будетъ $v=2.5.3=30$ м. скорость въ концѣ 6,3 секунды будетъ $v=2.5.6,3=63$ м. Видѣть съ тѣмъ видимъ что скорость, соответствующая концу первой секунды есть $2a$ (ибо при $t=1$, $v=2a$); и слѣдовательно *во все болѣе пройденнаго продолженія первой секунды пространства*.

Назвавъ величину $2a$ одною буквою g , можемъ формулу *равноускореннаго движенія* написать слѣдующимъ образомъ:

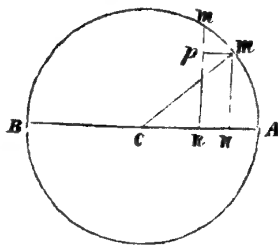
$$e = \frac{gt^2}{2}, \quad v = gt$$

Изъ формулы $v = gt$, полагая послѣдовательно $t=1'', 2'', 3'' \dots$ видимъ что скорость, приобретенная въ концѣ первой секунды, есть g , въ концѣ второй $2g$, третьей $3g$ и т. д. Слѣдовательно, *продолженіе* второй секунды скорость получила приращеніе g (ибо изъ g сдѣлалось $2g$), *продолженіе* третьей получила опять приращеніе g (ибо изъ $2g$ сдѣлалось $3g$) и т. д. Другими словами: въ разсматриваемомъ нами движеніи равнымъ промежуткамъ времени соответствуютъ равныя приращенія скорости. Отсюда названіе *равномерно-ускореннаго* движенія.

Приведемъ еще нѣсколько примѣровъ вывода закона скорости по данному закону пространства. Если законъ пространства выражается формулою: $e = t^2 - 3t + 2$, то законъ скорости выразится чрезъ $v = 2t - 3$. Въ случаѣ $e = nt^3$, законъ скорости будетъ $v = 3nt^2$.

Такъ какъ при наблюденіи движенія мы имѣемъ дѣло только съ пройденнымъ пространствомъ и временемъ, то можно спросить для чего вводится еще третье понятіе: *скорость*, которая прямо не дается наблюденіемъ, а опредѣляется чрезъ вычисленіе. Но кромѣ того, что изученіе скорости знакомитъ насъ подробнѣе съ свойствами даннаго движенія, понятіе скорости особенно важно потому что (какъ увидимъ въ послѣдствіи) дѣйствіе причины, производящей движеніе, именно обнаруживается измѣненіемъ скорости движущагося тѣла и измѣняется величиною этого измѣненія.

§ 430. Скорость въ движеніи гармоническомъ. Вообразимъ что нѣкоторое тѣло движется *равномернымъ* движеніемъ по кругу со скоростью v_0 . По мѣрѣ того какъ тѣло переходитъ, напримѣръ, отъ точки A (фиг. 630) послѣдовательно въ точки m , n и т. д., проложеніе его на діаметръ (опредѣляемое перпендикуляромъ опускаемымъ на діаметръ) движется по діаметру, переходя въ точки p , q и т. д. Когда тѣло пройдетъ полукругъ $AmmB$, проложеніе пройдетъ весь діаметръ отъ A до B ; когда тѣло опишетъ нижній полукругъ, проложеніе возвратится по діаметру отъ B до A . Вообще каждому полному обороту тѣла соответствуетъ полное качаніе проложенія по діаметру взадъ и впередъ, подобное качанію маятника. Такое движеніе по діаметру именуется *гармоническимъ движеніемъ*. Опредѣлимъ скорость его въ разныхъ точкахъ пути; напримѣръ при точкѣ q . Представимъ себѣ очень малый промежутокъ времени τ въ продолженіе котораго тѣло равномерно движется по кругу проходя малую дугу mn . Проложеніе въ это время пройдетъ малую ли-



Фиг. 630.

нію mn . Средняя скорость движенія проложенія будетъ $\frac{mn}{\tau}$. Но

такъ какъ время τ очень мало, то дугу mn можно принять за прямую линію mn , совпадающую съ элементомъ касательной въ точкѣ m и слѣдов. перпендикулярную къ радіусу om . И это будетъ тѣмъ точнѣе, чѣмъ менѣе вообразимъ время τ . Но въ такомъ случаѣ

$$mn = mp = mm. \cos mpr = mm. \sin moA.$$

$$\text{По } mm = v_0 \tau; \sin moA = \frac{mn}{mo}$$

Радіусъ mo назовемъ буквою R , перпендикуляръ mn (ордината) буквою y . Имѣемъ для выраженія скорости

$$v = \frac{mn}{\tau} = v_0 \cdot \frac{y}{R}$$

Скорость проложенія, то-есть скорость гармоническаго движенія, измѣняется слѣд. *пропорціонально величинѣ ординаты* y .

Пусть T есть время полного оборота тѣла. Тогда $v_0 = \frac{2\pi R}{T}$.

Назовемъ время въ продолженіе котораго тѣло прошло отъ A до m буквою t . Такъ какъ движеніе равномерно, то

$$t : T = \text{дуга } Am : 2\pi R$$

Отсюда дуга $Am = 2\pi R \cdot \frac{t}{T}$, дуга же единицы радіуса служащая мѣрою угла mA будетъ $\frac{Am}{R} = 2\pi \frac{t}{T}$.

Итакъ $\sin mA = \sin 2\pi \frac{t}{T}$ и слѣдов. скорость

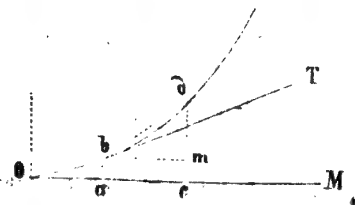
$$v = \frac{2\pi R}{T} \cdot \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

§ 431. Графическое изображеніе законовъ движенія помощью кривой пространства. Въ предыдущемъ разсужденіи мы выражали законы движенія помощью алгебраическихъ формулъ. Но есть еще другой, такъ-называемый *графическій* способъ для выраженія связи между зависящими одна отъ другой величинами. Если мы хотимъ графически изобразить связь между временемъ и пройденнымъ пространствомъ, то можемъ поступить слѣдующимъ образомъ. Условимся величиною горизонтальной линіи (линіи абсциссъ) изображать время, и пусть Oa представляетъ продол-

жительность одной секунды (фиг. 631). Тогда время, равное 10 секундам, изобразится длиной, которая въ 10 разъ болѣе oa , и какая-нибудь линія OM будетъ изображать столько секундъ сколько разъ въ ней заключается линія Oa . Пусть вертикальныя линіи (ординаты) ab, cd , и т. д. изображаютъ пройденныя пространства, такъ что ab представляетъ пространство, пройденное въ продолженіе времени Oa , cd въ продолженіе Os ... Если законъ пространства данъ и слѣдовательно для каждаго времени знаемъ соответствующее пройденное пространство, то представимъ себѣ, что вершины всѣхъ вертикальныхъ линій соединены между собою. Получимъ линію Obd , называемую *кривою пространства*. Каждому случаю движенія соответствуетъ своя кривая пространства. Когда проходимо пространство возрастаетъ пропорціонально времени, то линія соединяющая вершины всѣхъ вертикальныхъ, будетъ *прямая*. Если пространство возрастаетъ пропорціонально квадрату времени, то получимъ кривую линію, называемую *параболой* (въ этой кривой линіи ординаты возрастаютъ пропорціонально квадрату абсциссъ).

При графическомъ изображеніи ясно видно какъ должно понимать выраженіе, что перемѣнное движеніе въ продолженіе очень малаго времени можно разсматривать какъ равномерное. Дѣйствительно, какова бы ни была кривая пространства, всегда малый элементъ ея можно разсматривать какъ прямую линію, а прямая линія, какъ сказано выше, выражаетъ законъ пространства въ случаѣ равномернаго движенія.

Принявъ въ соображеніе что время изображается горизонтальною, пространство вертикальною линіей, легко доказать, что *скорости*, соответствующая концу какого-нибудь времени Oa (фиг. 631), выражается величиною тангенса угла кото-



Фиг. 631.

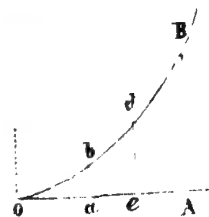
рой касательная линія bT , проведенная въ точкѣ b кривой, дѣлаетъ съ горизонтальною линіей OM . Дѣйствительно: такъ какъ ab выражаетъ пространство, пройденное во время Oa , cd пространство пройденное во время Os , то dm представитъ пространство, пройденное въ продолженіи краткаго времени ac .

Раздѣливъ dm на ac , или на равную ей линію bm , получимъ среднюю скорость, соответствующую промежутку времени ac . Но извѣстно, что въ прямоугольномъ треугольникѣ частное отъ дѣленія одного катета на другой выражаетъ тангенсъ острого угла, противолежащаго первому катету. Такимъ образомъ

$$\frac{dm}{bm} = \tan g \ dbm$$

Чѣмъ меньше будетъ промежутокъ ac , чѣмъ слѣдов. ближе между собою будутъ находиться точка b и d , тѣмъ болѣе пересѣкающая линія bd будетъ приближаться къ касательной bT , я тангенсъ угла, который bd дѣлаетъ съ горизонтальною линіей. тѣмъ ближе будетъ къ тангенсу касательной. А такъ какъ $\tan g \ dbm$ выражаетъ среднюю скорость, то $\tan g \ bTm$ будетъ выражать истинную скорость, которая есть предѣлъ средней скорости.

§ 432. Графическое изображеніе законовъ движенія помощію кривой скоростей. Допустимъ, какъ и прежде, что горизонтальная линія изображаетъ время, но помощію вертикальныхъ линій условимся изображать не пройденныя пространства, а скорости. Такимъ образомъ какая-нибудь вертикальная линія AB (фиг. 632) будетъ изображать не пространство, пройденное въ продолженіе времени OA , но ту скорость, какую имѣетъ движущаяся точка въ концѣ этого времени. Въ такомъ случаѣ кривая, проходящая чрезъ вершины ординатъ, будетъ *кривою скоростей*. Въ случаѣ движенія равномернаго, такъ какъ въ немъ скорость есть величина постоянная во все время дви-

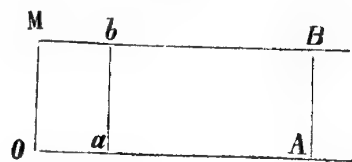


Фиг. 632.

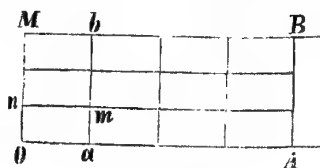
женія, всѣ вертикальныя линіи должны быть равны между собою, и законъ скоростей изобразится *прямой линіей* (фиг. 633), параллельною линіи OA . Вертикальныя линіи ab, AB , равныя между собою, изображать скорости.

Хотя здѣсь на чертежѣ означены собственно толь-

но величины времени и скорости, но чертежъ этотъ позволяетъ опредѣлить и пройденное пространство; только величина пространства обозначается здѣсь не длиною иѣкоторой линіи, а величиною площади. Дѣйствительно, мы знаемъ, что въ равномерномъ движеніи пространство равняется произведенію скорости



Фиг. 633.



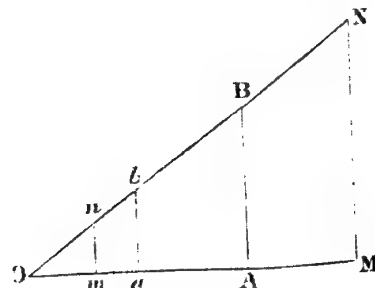
Фиг. 634.

на время. Потому, если хотимъ найти пространство, пройденное въ продолженіи времени OA равняющагося (фиг. 633) четыремъ единицамъ (допустимъ, что Oa изображаетъ величину единицы времени), то должны число 4 помножить на число единицъ длины какою выражается скорость, въ нашемъ случаѣ на 3 (полагая, что On изображаетъ единицу длины). Въ произведеніи получимъ 12. Но легко видѣть, что площадь $OMBA$ (фиг. 634) заключаетъ въ себѣ именно 12 такихъ прямоугольниковъ, какъ $Onma$. Другими словами въ графическомъ изображеніи закона равномернаго движенія, когда абсциссы изображаютъ время, а ординаты скорость, пройденное пространство выражается величиною площади, построенной на этихъ линіяхъ, и измѣряемой числомъ заключающихся въ ней прямоугольниковъ, имѣющихъ основаніемъ линію помощію которой условлено представлять единицу времени, а высотой линію представляющую единицу длины какою измѣряется скорость.

Не разбивая площади $OMBA$ на прямоугольники, можно догадаться, что ея величина изображаетъ про-

ходимое пространство, припомнивъ теорему геометріи, что величина площади прямоугольника равняется произведенію основанія на высоту и принимая въ соображеніе что въ нашемъ случаѣ основаніе OA и высота AB представляютъ собою время и скорость, произведеніе которыхъ выражаетъ величину пройденнаго пространства. При этомъ, дабы было полное соотвѣтствіе съ теоремой геометріи, мы должны единицу времени и единицу длины изображать равными линіями (такъ чтобы фигуру можно было вообразить себѣ разбитою на квадраты, какъ при измѣреніи площадей).

§ 433. Галилей вводитъ, помощію графическаго приёма, закона пространства изъ закона скоростей въ равномерно-ускоренномъ движеніи. Галилей допустилъ что свободное паденіе тѣла въ пустотѣ есть случай равномерно-ускореннаго движенія, то-есть такого въ которомъ скорость движенія возрастаетъ постепенно, пропорціонально протекшему отъ начала движенія времени. Такимъ образомъ если прибѣгнемъ къ графическому способу и условимся длиною горизонтальной линіи (фиг. 635) изображать величину времени,



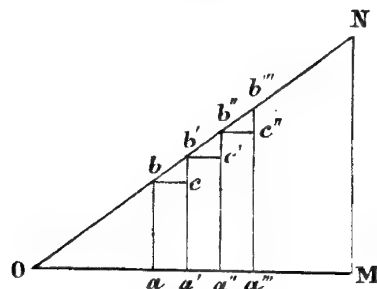
Фиг. 635.

считая начало при точкѣ O ; величину же скорости какую имѣетъ тѣло въ концѣ времени означеннаго

какою-либо линією OA условимся изображать соответствующую вертикальную линією AB , то, согласно допущенному закону, скорость въ моментъ соответствующій половинѣ времени изображенной линією OA , должна быть представлена вертикальною линією ab равною $\frac{1}{2} AB$; скорость соответствующая концу какого-нибудь времени изображенного линією OM вертикальною MN во сколько разъ большею AB , во сколько OM больше OA . Вообще если мы проведемъ чрезъ точки O и A прямую линію, то величина скорости соответствующей каждой изъ точекъ t, a, A, M и т. д. линіи AM изображающей время представится длиною перпендикуляра возставленнаго изъ этой точки до пересѣченія съ линією ON ; ибо по свойству прямой линіи, $MN:AB:ab:nt\dots = OM:OA:Oa:Ot\dots$, то-есть скорость возрастаетъ пропорціально времени какъ и требуется согласно допущенному закону. Если условимся что линіи OA изображаетъ единицу времени, на примѣръ секунду, и скорость AB въ концѣ этой первой секунды означимъ буквою g (какъ опредѣлить дѣйствительную величину этой скорости изъ наблюденія проходимаго тѣломъ пространства увидимъ ниже; пока будемъ разсуждать о ней какъ объ извѣстной). Въ такомъ случаѣ величина скорости $MN = v$ въ концѣ какого-нибудь времени $OM = t$ найдется изъ отношенія $MN:AB = OM:OA$ или $v:g = t:1$, откуда $v = gt$ уравненіе выражающее законъ скорости въ равноѣрно-ускоренномъ движеніи.

На чертежѣ изображены скорости соответствующія разнымъ моментамъ движенія. Не трудно доказать что помощію того же чертежа можно опредѣлить и пространство проходимое тѣломъ въ продолженіе опредѣленного времени. Величина проходимаго пространства сама собою обозначается на чертежѣ, но выражается не величиною нѣкоторой линіи, а величиною площади прямоугольнаго треугольника, кото-

рому катетами служатъ линіи изображающія на чертежѣ величины времени и скорости. Можно доказать что пространство пройденное въ продолженіе времени означеннаго какою-нибудь линією OM выразится величиною площади OMN . Чтобы доказать это важное положеніе, вообразимъ случай движенія не совсѣмъ такой какъ разсматриваемый нами, но весьма къ нему близкій. Раздѣлимъ мысленно время на очень малые промежутки и допустимъ что скорость движенія тѣла воз-



Фиг. 636.

растаетъ не непрерывно какъ мы предполагали, а получаетъ малыя постоянныя приращенія въ самомъ концѣ каждаго изъ промежутковъ, оставаясь въ продолженіе промежутка постоянною, такъ что движеніе тѣла можно разсматривать какъ состоящее изъ равномѣрныхъ движеній. Но, согласно предыдущему параграфу, величина проходимаго равноѣрнымъ движеніемъ пространства выражается площадью прямоугольника основаніе котораго есть линія изображающая время, высота линія изображающая скорость. Потому, если линія aa' изображаетъ (фиг. 636) одинъ изъ упомянутыхъ промежутковъ времени, ab скорость въ теченіе этого промежутка, то площадь $abca'$ изобразитъ величину пройденнаго въ этотъ промежутокъ пространства. Въ концѣ промежутка скорость получаетъ приращеніе и становится равною

ною $a'b'$. Пространство пройденное во второй промежутокъ будетъ $a'b'c'a''$; въ третій $a''b''c''a'''$ и т. д. Совокупность этихъ пространствъ, то-есть пространство пройденное въ определенное время напимвръ OM выразится площадью фигуры ограниченной снизу линіею OM , сверху лѣстницеобразною линіею часть которой изображена на чертежѣ. Чѣмъ менѣе вообразимъ себѣ промежутки времени, тѣмъ болѣе воображаемое нами движеніе приблизится къ случаю равномерно-ускореннаго движенія въ которомъ скорость возрастаетъ непрерывно и притомъ во всякій моментъ одинаковымъ образомъ. Въ графическомъ изображеніи тѣмъ менѣе будутъ становиться уступы лѣстницеобразной линіи которая въ предѣлѣ обратится въ прямую линію ON , такъ что площадь треугольника NOM и выразитъ слѣдовательно пространство проходимое тѣломъ движущимся равномерно-ускореннымъ движеніемъ и приобретающимъ въ теченіе времени OM скорость MN . Если (фиг. 635) OA изображаетъ единицу времени,—секунду, то площадь OBA выразитъ пространство пройденное въ первую секунду. Величина площади треугольника равняется произведенію основанія на половину высоты; слѣдов. площадь $OBA = OA \cdot \frac{1}{2} AB = \frac{1}{2} g$. Скорость приобретаемая въ концы первой секунды движенія равняется двойному пройденному въ эту секунду пространству. Такимъ образомъ, измѣривъ пройденное пространство, найдемъ величину скорости. Мы говорили о пространствѣ пройденномъ въ первую единицу времени. Не трудно выразить формулою пространство e пройденное вообще во время t . Пространство это, если примемъ линію $OM = t$, выразится площадью OMN . Площадь $OMN = e = OM \cdot \frac{1}{2} MN = t \cdot \frac{1}{2} v$ такъ какъ $MN = v$. Но $v = gt$ слѣдов.

$$e = \frac{gt^2}{2}$$

Пространство возрастаетъ пропорціонально квадрату времени.

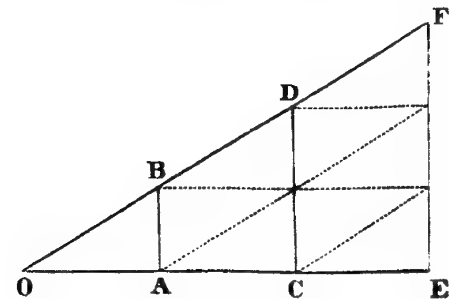
Такимъ образомъ пространства, пройденныя въ продолженіе одной, двухъ, трехъ, четырехъ и такъ далѣе секундъ, считая съ начала движенія, суть:

$$\frac{g}{2}, 4 \frac{g}{2}, 9 \frac{g}{2}, 16 \frac{g}{2}, \text{ и т. д.}$$

Если въ продолженіе двухъ секундъ пройдено $4 \frac{g}{2}$, въ одну первую секунду $\frac{g}{2}$, то значить въ продолженіе второй секунды было пройдено $3 \frac{g}{2}$. Въ продолженіе трехъ секундъ пройдено $9 \frac{g}{2}$, а въ продолженіе первыхъ двухъ $4 \frac{g}{2}$, слѣдов. въ продолженіе одной третьей пройдено $5 \frac{g}{2}$ и такъ далѣе. Вообще, послѣдовательно, въ продолженіе первой, второй, третьей, четвертой и т. д. секунды проходятся пространства:

$$\frac{g}{2}, 3 \frac{g}{2}, 5 \frac{g}{2}, 7 \frac{g}{2}$$

пространства проходимыя послѣдовательно въ первую, вторую, третью и т. д. единицы времени относятся между собою какъ рядъ нечетныхъ чиселъ. Это видно на чертежѣ (фиг. 637) гдѣ площади OBA , $ABDC$, $CDFE$ изображаютъ величины пространства пройденныхъ въ первую, вторую, третью секунды.



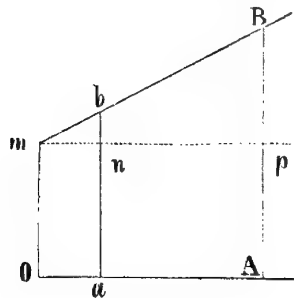
Фиг. 637.

3) При $t=1''$ имѣемъ $v=g$ и $e=\frac{g}{2}$, то-есть, какъ уже было сказано, скорость приобретенная въ концѣ первой секунды, вдвое болѣе пройденнаго въ эту секунду пространства.

4) Опредѣливъ изъ перваго уравненія t и вставивъ во второе, получимъ

$$v = \sqrt{2eg},$$

формула, показывающая связь между скоростью и пройденнымъ пространствомъ.



Фиг. 638.

Если первоначальная скорость не равна нулю, то для вывода формулъ движенія должно обратиться къ фиг. 638. Положивъ начальную скорость Om равную v_0 , видимъ, что скорость v , соответствующая концу времени t и изображаемая на чертежѣ линіей AB (время равное единицѣ пусть есть Oa), будетъ

$$v = AB = Ap + Bp$$

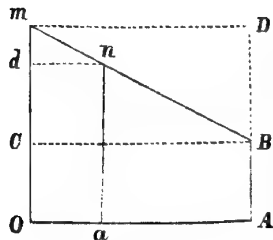
$$\text{или } v = v_0 + gt,$$

ибо $Ap = v_0$, Bp получается изъ пропорціи $\frac{Bp}{bn} = \frac{mp}{mn}$

гдѣ $bn=g$, $mp=t$, $mn=1$, и слѣдов. $Bp=gt$.

Пространство e , пройденное въ продолженіе времени t , изображается площадью $OABm$, состоящею изъ четырехугольника $OAmr$ и треугольника mrB , и выразится формулою

$$e = v_0 t + \frac{gt^2}{2}$$



Фиг. 639.

Если скорость вмѣсто того, чтобы возрастать, уменьшается равномерно, начиная съ величины v_0 , то понятно что законъ такого движенія, называемаго *равномерно-замедленнымъ*, изобразится графически, какъ представлено на фиг. 639. Здѣсь $Om = v_0$ изображаетъ начальную скорость; $AB=gt$ скорость въ концѣ времени $Oa=t$. Назвавъ линію md , изображающую

уменьшеніе скорости въ продолженіе времени Oa , равнаго единицѣ (въ продолженіе секунды), буквою g , будемъ имѣть

$$v = v_0 - gt.$$

ибо $AB=Om-mC$, гдѣ $Om=v_0$; $mC=gt$, такъ какъ

$$\frac{mC}{md} = \frac{CB}{dn}, \text{ гдѣ } md=g, CB=t, nd=1$$

Площадь $OABm$, выражающую пройденное пространство e , можно разсматривать, какъ разность площади четырехугольника $OAdm$ безъ треугольника BDm . Легко видѣть, что

$$OABm = OAdm - BDm, \text{ гдѣ } Om=v_0;$$

$$OA=md=t; BD=gt,$$

$$\text{слѣдовательно } e = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

§ 434. Скорость охлажденія. Поправка относительно дѣйствія окружающей среды при опредѣленіи удѣльной теплоты. Въ заключеніе настоящей главы остановимъ вниманіе на одномъ понятіи изъ другой совсѣмъ области физики, но имѣющемъ близкую аналогію съ тѣмъ что называется скоростью въ перемѣнномъ движеніи. Мы говоримъ о такъ-называемой *скорости охлажденія*, понятіи встрѣчающемся въ разсужденіяхъ о быстротѣ пониженія температуры охлаждающагося тѣла. Пониженіе это можетъ происходить быстрее или медленнѣе: отсюда понятіе о *скорости охлажденія*. Скорость эта, какъ показываетъ опытъ зависитъ отъ избытка температуры тѣла надъ температурою окружающаго пространства и тѣмъ значительнѣе чѣмъ болѣе этотъ избытокъ. Такъ, напримѣръ, въ одномъ изъ опытовъ Дюлонга и Шти (занимавшихся внимательнымъ изслѣдованіемъ законовъ охлажденія тѣлъ) находимъ слѣдующія данныя относящіяся къ случаю тѣла охлаждающагося въ замкнутомъ пространствѣ и представляющаго собою родъ большого термометра.

Время.	Избытокъ температуры тѣла надъ температурою окружающаго пространства.
0	38"
2' 33"	36
5 26	34
8 23	32
11 32	30
14 53	28
18 31	26
22 25	24
26 41	22
31 18	20

Если бы мы изобразили время горизонтальною линією, а соответствующіе избытки температуръ вертикальными линіями, то получили бы кривую которая выражала бы законъ охлаждения подобно тому какъ фиг. 631 изображаетъ законъ пространствъ въ случаѣ нѣкотораго перемежнаго движенія. Мы найдемъ *среднюю скорость* охлаждения, если пониженіе температуры въ продолженіе малаго времени раздѣлимъ на величину этого времени. Такимъ образомъ средняя скорость (отнесенная къ секундѣ времени) въ началѣ опыта, то-есть въ промежуткѣ времени отъ 0' до 2'38" (или 158") будетъ $2^{\circ}:158 = 0^{\circ},013$; скорость въ концѣ опыта, то-есть отъ 26'41 до 31'18" будетъ $2^{\circ}:317 = 0^{\circ},0063$; скорость въ промежуткѣ отъ 14'53" до 18'31" будетъ $2^{\circ}:258 = 0,0077$. Видимъ что приблизительно скорости охлаждения можно считать пропорціональною избытку температуры охлаждающагося тѣла надъ температурою окружающаго пространства (законъ Ньютона точный въ случаѣ малыхъ избытковъ).

Съ измѣреніемъ скорости охлаждения мы вступаемъ между прочимъ при опредѣленіи удѣльной теплоты по способу смѣшенія (§§ 176, 177). Чтобы найти величину поправки происходящей отъ вліянія температуры среды окружающей калориметръ, наблюдаютъ, въ теченіе нѣсколькихъ минутъ до погруженія тѣла и потомъ послѣ того какъ установилось равновѣсіе температуры между погруженнымъ тѣломъ и водою калориметра—показанія термометра погруженнаго въ воду, сравнивая эти показанія съ показаніями термометра указывающаго температуру окружающаго воздуха. На отдѣльномъ примѣрѣ удобнѣе всего указать какъ вообще располагается опытъ и вычисляется величина поправки. Имѣемъ, на примѣръ, кусокъ известковаго шпата въѣсъ котораго $m = 119,86$ граммъ; пускай величина $M + m'c$ (то-есть приведенный къ водѣ въѣсъ километра по § 176 стр. 232) $= 454,116$ граммъ; температура T шпата въ моментъ погруженія $= 99^{\circ},56$. Термометръ опущенный въ воду калориметра показывалъ послѣдовательно въ продолженіе десяти минутъ пока продолжался опытъ (погруженіе произошло между 3 и 4 минутой) слѣдующія температуры:

0'	...	3°,47	разность $= 0^{\circ},03$; слѣд. въ 1 минуту калориметръ пріобрѣтаетъ $0^{\circ},01$.
3'	...	3°,50	
4	...	8°,38	
5	...	8°,54	
6	...	8°,52	
7	...	8°,49 $= t$	
10	...	8°,39	разность $0^{\circ},1$; слѣд. въ 1' калорим. теряетъ $0^{\circ},083...$

Видимъ что повышеніе температуры калориметра (величина $t - \theta$ формулы) есть $8^{\circ},49 - 3^{\circ},50 = 4^{\circ},99$. Но это число должно

быть поправлено во-первыхъ потому что въ промежуткѣ отъ 4 до 7 минутъ температура калориметра была выше окружающей среды и она теряла теплоту. Опытъ послѣднихъ трехъ минутъ показываетъ, что при той температурѣ какую имѣлъ калориметръ теряется приблизительно $0^{\circ},033$ въ минуту; слѣд. въ продолженіе трехъ минутъ, отъ 4 до 7, утрачено $0^{\circ},1$. Далѣе, погруженіе произошло не при самомъ концѣ 3-й минуты, а, можно допустить, въ срединѣ между 3 и 4 минутами. При температурѣ же какую калориметръ имѣлъ до погруженія онъ пріобрѣтаетъ въ 1' по $0^{\circ},01$; слѣдов. въ $\frac{1}{2}$ минуты пріобрѣтаетъ $0,005$ (температура предъ погруженіемъ была слѣд. не $3^{\circ},5$, а $3^{\circ},505$). Во вторую половину промежутка между 3 и 4 минутами тѣло погружено, и температура подымается. Если бы температура мгновенно возрасла до $8^{\circ},38$ какою она оказалась въ концѣ 4-й минуты, то поправка относительно второй половины была бы $\frac{1}{2} \cdot 0,033$. Но такъ какъ возрастаніе было постепенное, то величина эта слишкомъ велика и какъ Реньйо убѣдился изъ особыхъ опытовъ, истинная поправка въ подобныхъ случаяхъ должна составлять около двухъ третей величины опредѣленной въ предположеніи мгновеннаго возрастанія температуры. Она будетъ слѣдов. $\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,033 = 0,001$. Такимъ образомъ поправленная величина повышенія температуры калориметра $t - \theta$ будетъ $= 4^{\circ},99 + 0^{\circ},1 - 0^{\circ},005 + 0^{\circ},001 = 5^{\circ},106$. Имѣемъ всѣ данныя для рѣшенія уравненія страницы 232-й:

$$mx(T - t) = (M + m'c)(t - \theta)$$

$$\text{гдѣ } T - t = 91^{\circ},07; M + m'c = 454,116; t - \theta = 5^{\circ},106.$$

Отсюда $mx = 25,461$. Но не должно забыть что шпата опущенъ въ воду въ корзиночкѣ изъ очень тонкой иѣдной проволоки, въѣсъ которой былъ $m_1 = 9,732$ грамма, удѣльная теплота $c_1 = 0,094$, а слѣд. приведенный къ водѣ въѣсъ $m_1c_1 = 0,915$. Опытъ показалъ, впрочемъ, Реньйо что для практическаго приложенія эта величина должна быть уменьшена ибо корзиночка нѣсколько успѣваетъ охлаждаться на пути отъ нагреваемаго канала до калориметра. Основываясь на опытахъ съ кускомъ свинца опускавшемся въ калориметръ то безъ корзиночки, то въ корзиночкѣ, Реньйо убѣдился что за приведенный къ водѣ въѣсъ m_1c_1 корзиночки служившей въ его опытахъ должно принимать $m_1c_1 = 0,732$ грамма. Принимая во вниманіе участіе корзиночки отдающей теплоту какъ и шпата, мы должны предыдущую формулу написать такъ:

$$(mx + m_1c_1)(T - t) = (M + m'c)(t - \theta)$$

Слѣдов. полученная выше величина 25,461 грам. есть не mx , а сумма $mx + m_1c_1$. Чтобы получить mx должно изъ 25,461 вычесть 0,732. Итакъ $mx = 24,729$; отсюда, такъ какъ $m = 119,86$, удѣльная теплота известковаго шпата $x = 0,2063$.

Законы движения в природе. Учение о измерении силъ.

§ 435. **Законы движения. Понятие о силѣ.** Въ первомъ отдѣлѣ мы уже видѣли, что этихъ законовъ три:

- 1) *Законъ крѣпости или инерціи.*
- 2) *Законъ относительнаго движения.*
- 3) *Законъ дѣйствія равнаго противодействия.*

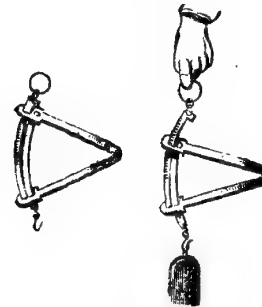
Согласно первому закону, тѣло само, безъ дѣйствія на него какой-либо причины, не можетъ придти въ движеніе или измѣнить движеніе какое имѣетъ.

Тѣло можетъ придти въ движеніе отъ различныхъ причинъ: оттого что мы переносимъ его рукою, оттого что къ нему привязана нить, за которую мы его тянемъ, оттого что его увлекаетъ потокъ, оттого что его притягиваетъ другое тѣло и т. д. Вообще причины способныя привести тѣло въ движеніе или измѣнить движеніе, какое оно имѣетъ, называются *силами*.

Не смотря на то что на тѣло дѣйствуетъ причина стремящаяся привести его въ движеніе, оно можетъ остаться въ покоѣ, если дѣйствіе этой причины уничтожается дѣйствіемъ другой или сопротивленіемъ какого-нибудь неподвижнаго препятствія. Такого рода покой называется состояніемъ *равновѣсія*. Нѣкоторые вопросы о равновѣсіи мы рассматривали въ предыдущей главѣ. Часть механики трактующая о равновѣсіи называется *статикою*, трактующая о движеніи *динамикою*.

Очевидно, что дѣйствіе силы на точку гдѣ она приложена можетъ состоять въ томъ, что сила стремится перемѣстить эту точку по опредѣленному направленію. Прямая линія, изображающая это направленіе, представляетъ *направленіе* силы. Самое дѣйствіе мы можемъ представить въ двухъ формахъ: сила *тянетъ* точку по своему направленію или *толкаетъ* ее по этому направленію. Поэтому, когда хотимъ нагляднѣе представить дѣйствіе силы, можемъ употреблять какую-нибудь изъ этихъ формъ.

§ 436. **Статическое измереніе силъ.** Статически силы измѣряются по производимому ими *натяженію* или *давленію*. Пусть сила, величину которой хотимъ измѣрить, есть *вѣсъ* даннаго тѣла. Можно для этой цѣли воспользоваться инструментомъ, изображеннымъ на фиг. 640. Онъ состоитъ изъ упругой стальной полоски, согнутой угломъ. На концѣ дуги, придѣланной



Фиг. 640.



Фиг. 641.

къ верхней сторонѣ угла и свободно проходящей чрезъ прорѣзъ въ край нижней стороны, находится крючокъ, на который можно повѣсить тѣло, если желаемъ измѣрить *натяженіе* производимое его вѣсомъ. Кольцо, находящееся на концѣ дуги, которая привѣрена къ нижней сторонѣ угла и свободно проходитъ чрезъ оставленный для нея прорѣзъ въ верхней, можетъ быть привѣрено къ неподвижному препятствію. Вѣсъ тѣла тянетъ крючокъ внизъ, и вслѣдствіе того стороны угла сближаются между собою. Онъ опять удаляются одна отъ другой, когда не будетъ болѣе натяженія. По уменьшенію угла, измѣряемаго помощію упомянутыхъ дугъ, можно судить о величинѣ силы, которая тянетъ тѣло внизъ. Этотъ инструментъ и вообще инструменты, служащіе для измѣренія силъ по производимому ими натяженію, называются *динамометрами*. Фиг. 641 изображаетъ одну изъ употребительныхъ формъ снарядовъ этого рода.

Если натяжение, измеряемое динамометромъ, производится не вѣсомъ, но какою-нибудь другою силою, то величину этой послѣдней мы можемъ выразить помощію вѣса, условившись натяжение производить единицею вѣса, килограммомъ, считать единицею для измерения силъ. Пусть, напримѣръ, тѣло, привѣшенное къ нашему инструменту, есть кусокъ желѣза. Приблизивъ къ нему магнитъ, мы замѣтимъ, что стальная полоса, согнутая уже вѣсомъ тѣла, согнется еще болѣе вслѣдствіе увеличенія натяженія, которое произойдетъ отъ притяженія магнита. Но точно такое же увеличеніе натяженія мы могли бы произвести, присоединяя къ нашему тѣлу какой-нибудь опредѣленный вѣсъ. Такимъ образомъ сила магнитнаго притяженія въ этомъ случаѣ производитъ такое же приращеніе натяженія, какъ этотъ вѣсъ; слѣдовательно, ея величина равна величинѣ этого вѣса и можетъ быть выражена числомъ килограммовъ, заключающихся въ немъ. Если привѣсимъ одинъ конецъ инструмента къ какому-нибудь неподвижному препятствію, а другой, помощію веревки, станемъ тянуть рукою, то можно опредѣлить и выразить въ килограммахъ величину натяженія какое мы можемъ произвести силою своихъ мускуловъ. Присоединяя одинъ конецъ динамометра помощію веревки къ экипажу, а другой такимъ же образомъ къ сбруѣ лошади, можно выразить въ килограммахъ величину силы съ какою лошадь тянетъ экипажъ и т. д.

§ 437. Движеніе происходящее отъ силы дѣйствующей по его направленію. Понятіе о постоянной силѣ. Если тѣло, на которое по опредѣленному направленію дѣйствуетъ сила, ничѣмъ не удерживается, то оно приходитъ въ движеніе. Представимъ себѣ простѣйшій случай, когда все тѣло можно рассматривать какъ одну матеріальную точку. Очевидно, что такая точка, повинувшись силѣ, дѣйствующей по опредѣленному, не-

измѣняющемуся направленію, будетъ двигаться по линіи, изображающей направленіе силы.

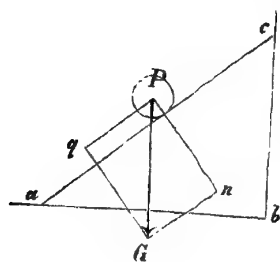
Движеніе этого тѣла не можетъ быть равномернымъ, ибо, на основаніи закона кривизны, равномерность движенія есть признакъ что на тѣло не дѣйствуетъ никакая причина, способная измѣнить его движеніе, или сила. Очевидно, что во все время пока по направленію движенія дѣйствуетъ на тѣло сила, это движеніе *ускоряется*. Еслибы въ какой-нибудь точкѣ пути дѣйствіе силы прекратилось, то тѣло, оставленное самому себѣ, продолжало бы двигаться, но движеніе, начиная съ момента прекращенія силы, сдѣлалось бы равномернымъ съ тою скоростію какую тѣло успѣло приобрѣсти до момента прекращенія дѣйствія силы.

Сила которой величина не измѣняется во все время ея дѣйствія на тѣло называется силою постоянною. Если, помѣстивъ тѣло въ различныхъ точкахъ пути, который ему предстоитъ описать отъ дѣйствія нѣкоторой силы p , опредѣлимъ натяженіе испытываемое въ каждомъ положеніи нитью удерживающею тѣло и найдемъ что натяженіе это остается одинаковымъ во всѣхъ точкахъ пути, то мы въ правѣ заключить что величина силы не измѣняется въ различныхъ точкахъ пути, и она есть слѣдов. *постоянная*. Вѣсъ тѣла подходитъ подъ это условіе неизмѣнности величины дѣйствующей силы. Гдѣ бы на протяженіи отвѣсной линіи по какой происходитъ паденіе мы ни помѣстили тѣло, держа его на нити, всюду направленіе нити будетъ одинаково, и натяженіе, испытываемое ею, постоянно. Мы заключаемъ, что въ рассматриваемомъ случаѣ сила (вѣсъ) во все продолженіе движенія не измѣняетъ своего направленія и сохраняетъ постоянную величину.

Перейдемъ къ вопросу о *динамическомъ* измѣреніи силъ, по производимому ими движенію. Какое движе-

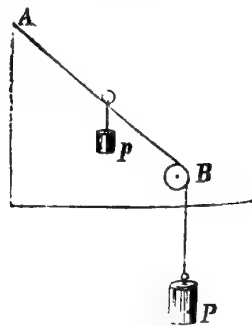
ние производить сила данной величины? Чѣмъ различается движеніе сообщаемое тѣлу данною силою отъ движенія сообщаемого силою, которая вдвое, втрое и т. д. болѣе первой? Какое движеніе производитъ сила данной величины, дѣйствуя на различныя тѣла? Вотъ вопросы которыми намъ предстоитъ заняться.

§ 438. Движеніе отъ дѣйствія по его направленію постоянной силы есть равномерно-ускоренное. Это положеніе можно оправдать, изучая движеніе падающаго тѣла, такъ какъ паденіе есть случай движенія отъ дѣйствія постоянной силы, каковою въ этомъ случаѣ служитъ вѣсъ тѣла. Но паденіе по вертикальному направленію слишкомъ быстро для того чтобы съ точностію изучать явленіе. Удобнѣе прибѣгнуть къ случаю паденія по наклонной плоскости. Сила Pq заставляющая (фиг. 642) тѣло катиться по склону ca имѣетъ постоянную величину на всемъ протяженіи движенія, но такъ какъ она менѣе полнаго вѣса PG , то движеніе про-



Фиг. 642.

исходить медленнѣе чѣмъ при вертикальномъ паденіи. Въ § 12 мы видѣли уже какъ Галилей показывалъ, что при паденіи по наклонной плоскости пройденныя тѣломъ пространства пропорціональны квадратамъ времени, откуда какъ слѣдствіе вытекаетъ, что ско-



Фиг. 643.

рость возрастаетъ пропорціонально времени. Движеніе есть слѣдов. равномерно-ускоренное.

Для опытовъ съ паденіемъ по наклонной линіи можно пользоваться металлическою проволокою укрѣпленной однимъ концемъ въ стѣнѣ, тогда какъ другой конецъ B (фиг. 643) туго натягивается грузомъ P . Падающая гирька p прикрѣпляется къ маленькому блоку, катящемуся внизъ.

§ 439. Производимое силою ускореніе пропорціонально ея величинѣ. Измѣняя уголъ наклонной линіи, можно измѣнить величину силы, дѣйствующей на тѣло по направленію движенія. Пусть p есть сила, производящая движеніе при опредѣленномъ наклонѣ. Сдѣлаемъ наклонъ круче на столько, чтобы величина дѣйствующей силы удвоилась и сдѣлалась $2p$. Тогда, если пройденное въ первую секунду пространство въ первомъ опытѣ было a , то во второмъ оно будетъ $2a$. Еслибы сила была $3p$, то пройденное пространство было бы $3a$ и т. д.

Итакъ: *проходимое тѣломъ въ первую секунду пространство, а слѣд. и приобретаемая въ концѣ этой секунды скорость (въ равномерно-ускоренномъ движеніи она равна двойному пройденному пространству) пропорціональны величинѣ дѣйствующей силы.* Потому какъ пространство, такъ и приобретенная скорость одинаково могутъ служить мѣрою силы.

Условлено принимать за мѣру силы приобретаемую тѣломъ скорость на томъ основаніи, что эта мѣра, какъ легко видѣть, одинаково приложима, какъ къ тѣлу, начинающему двигаться, такъ и къ тѣлу, уже находящемуся въ движеніи.

Дѣйствительно, тѣло къ концу первой секунды приобретаетъ скорость g , сила продолжаетъ дѣйствовать, и скорость въ концѣ второй секунды становится $2g$, слѣдовательно получается приращеніе скорости равное g ; въ продолженіе третьей секунды вслѣдствіе

дѣйствія силы получается новое приращеніе g , такъ что къ концу третьей секунды скорость становится $3g$ и т. д.

Такимъ образомъ приращеніе скорости въ продолженіе секунды, называемое *ускореніемъ*, одинаково, находится ли тѣло въ тотъ моментъ, съ котораго начинаемъ разсматривать дѣйствіе силы, въ покой, или уже имѣетъ какую-нибудь скорость. Другими словами, если тѣло въ опредѣленный моментъ имѣетъ скорость v_0 и въ продолженіи секунды, начиная съ этого момента, на него дѣйствуетъ по направленію движенія постоянная сила, то это тѣло въ концѣ секунды будетъ имѣть скорость

$$v_0 + g,$$

гдѣ g ускореніе, какое сила произвела бы, дѣйствуя на тѣло безъ начальной скорости.

Это есть одно изъ слѣдствій втораго закона движенія, согласно которому сила одинаково дѣйствуетъ на тѣло, находится ли оно въ покой, или движется.

Итакъ въ окончательномъ результатѣ мы приходимъ къ тому, что для сравненія силъ между собою мы должны сравнивать или производимыя ими *натяженія*, или *ускоренія* какія они производятъ, дѣйствуя на одно и то же тѣло, по направленію движенія. Сила двойная, т.-е. производящая *двойное* натяженіе, производитъ *двойное* ускореніе сравнительно съ простою силою, сила вътрое большая производитъ и ускореніе вътрое большее и т. д.

Представимъ себѣ вертикальную линію AB и нѣсколько наклонныхъ AC , AD , AE ... Пусть нѣкоторое тѣло вѣса p начинаетъ движеніе съ точки A . Назовемъ буквою g ускореніе приобретаемое этимъ тѣломъ, въ случаѣ если оно свободно падаетъ по вертикальной линіи $AB=h$. Въ этомъ случаѣ на него дѣйствуетъ вся сила p . Если тоже тѣло движется по наклонной линіи $AC=l$, то не весь вѣсъ p дѣйствуетъ по на-

правленію движенія, а его часть, именно $p \cdot \frac{h}{l}$ и слѣдовательно ускореніе G при движеніи по AC найдется изъ отношенія

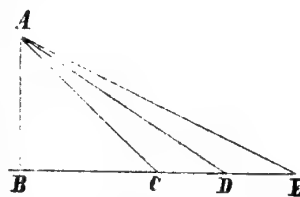
$$G : g = p \frac{h}{l} : p = h : l$$

Скорость, приобретенная въ точкѣ B § 433) будетъ $v = \sqrt{2gh}$. Скорость въ точкѣ C будетъ

$$v' = \sqrt{2G \cdot AC} = \sqrt{2G l} = \sqrt{2gh}, \text{ ибо } G = g \frac{h}{l}.$$

Слѣдов. $v = v'$. Тоже самое нашли бы еслибы вмѣсто AC взяли какую-нибудь другую наклонную линію.

Итакъ: тѣло, двигаясь внизъ, достигаетъ данной горизонтальной плоскости съ одинаковою скоростью, движется ли оно по наклонной линіи, или падаетъ вертикально.



Фиг. 644.

§ 440. Понятіе масса. Сравненіе понятій масса и вѣсъ. Сила данной величины, дѣйствуя на разные тѣла производитъ не одинаковое движеніе. Приобрѣтаемое ускореніе будетъ различно, смотря по количеству матеріальныхъ частицъ или *массѣ* тѣла. Чѣмъ болѣе присоединимъ мы къ тѣлу матеріальныхъ частицъ, чѣмъ болѣе сдѣлаемъ его массу, не измѣняя величины дѣйствующей силы, тѣмъ медленнѣе будетъ движеніе отъ дѣйствія этой силы.

Это положеніе взято изъ опыта, но изслѣдованіе на опытѣ зависимости движенія отъ массы представляетъ нѣкоторыя затрудненія. Мы не можемъ осуществить на опытѣ простѣйшаго случая: взять тѣло, на которое не дѣйствуетъ никакая сила, подвергнуть его дѣйствію опредѣленной силы, изслѣдовать движеніе, потомъ присоединить новое количество вѣщественныхъ частицъ, вторично изслѣдовать движеніе отъ той же самой силы и сравнить оба случая между собою. Въ природѣ нѣтъ

тѣла свободного отъ дѣйствія всякой силы: на всѣ наблюдаемыя нами тѣла дѣйствуетъ земное притяженіе, и они имѣютъ вѣсъ. Самою силою тяжести мы не можемъ прямо воспользоваться для нашей цѣли. Если къ данному тяжелому тѣлу присоединимъ новыя вещественныя частицы, то чрезъ это измѣнимъ самую величину дѣйствующей силы, то-есть вѣсъ, а въ предыдущей простѣйшей формѣ опыта мы предполагали, что, присоединяя новыя частицы къ тѣлу, мы не измѣняемъ величины дѣйствующей на него силы.

Но представимъ себѣ на поверхности воды поплавокъ, на которомъ помѣщенъ кусокъ желѣза вмѣстѣ съ другими тѣлами, на которыя магнитъ не дѣйствуетъ притягательно. Приблизивъ магнитъ, мы можемъ разсматривать нашъ поплавокъ, какъ тѣло, на которое дѣйствуетъ опредѣленная сила—притяженіе магнита. Строго нельзя, конечно, сказать, что здѣсь дѣйствуетъ только сила магнитнаго притяженія, такъ какъ поплавокъ, желѣзо и постороннія тѣла подвержены дѣйствию тяжести и имѣютъ вѣсъ; но тяжесть не имѣетъ вліянія на движеніе поплавка по поверхности воды, ибо безъ дѣйствія магнита поплавокъ остается въ покоѣ и не стремится двигаться ни въ ту, ни въ другую сторону.

Прикрѣпивъ къ поплавку нить, мы можемъ удерживать его въ покоѣ, хотя близъ его находится магнитъ: натяженіе этой нити покажетъ величину дѣйствующей силы, ея направленіе—направленіе силы. Такъ какъ магнитъ дѣйствуетъ только на желѣзо, то присутствіе на поплавкѣ постороннихъ тѣлъ не имѣетъ вліянія на величину дѣйствующей силы, и натяженіе нити останется то же самое, прибавимъ ли мы на поплавокъ новыя тѣла, или уменьшимъ ихъ количество. Такимъ образомъ прибавленіе или убавленіе постороннихъ тѣлъ не имѣетъ вліянія на равновѣсіе.

Нельзя того же сказать о движеніи. Если, выпустивъ нить, мы дозволимъ поплавку придти въ движеніе, то это движеніе будетъ тѣмъ медленнѣе, чѣмъ болѣе тѣло наложено на поплавокъ. Такимъ образомъ присоединеніе новыхъ частицъ, безъ измѣненія величины дѣйствующей силы, замедляетъ движеніе. Такъ какъ количество частицъ составляетъ массу тѣла, то мы можемъ сказать: чѣмъ больше масса тѣла на которое дѣйствуетъ сила, тѣмъ медленнѣе происходитъ его движеніе.

Въ примѣрѣ съ поплавкомъ движеніе замедляется не отъ того, что присоединяемыя тѣла имѣютъ *вѣсъ*, но отъ того, что они имѣютъ *массу*. Не должно смѣшивать между собою эти два понятія. Вѣсъ есть явленіе до нѣкоторой степени случайное. Можно вообразить тѣло безъ вѣса; нельзя вообразить тѣло безъ массы. Вѣсъ даннаго тѣла, если бы перенести его на солнце, увеличился бы въ 26 разъ; пудъ мѣди на солнцѣ давилъ бы на поддерживающее его препятствіе такъ какъ на землѣ давятъ 26 пудовъ, но масса куска осталась бы та же самая. Еслибы, представляя магнитное притяженіе неизмѣняемымъ, мы могли произвести нашъ опытъ на солнцѣ, на лунѣ и гдѣ угодно, онъ всюду произошелъ бы одинаковымъ образомъ, и замедленіе движенія было бы то же самое.

Хотя вѣсъ и масса не одно и то же, но между ними есть важное соотношеніе. Положимъ, что постороннее тѣло, помѣщенное на поплавокѣ, было мѣдъ. Снимемъ ее и замѣнимъ, на примѣръ, платиною. Тогда мы можемъ положить платины столько, что поплавокъ будетъ двигаться точно также какъ двигался будучи обремененъ мѣдью. Такимъ образомъ, относительно замедленія движенія, прежнее количество мѣди и новое количество платины имѣютъ одинаковое значеніе. Мы говоримъ, что въ нашемъ случаѣ масса мѣди.

равна массѣ платины. Еслибы мы свѣсили количества мѣди и платины, то увидѣли бы, что они имѣютъ одинаковый вѣсъ. Такимъ образомъ два тѣла имѣющія одинаковый вѣсъ имѣютъ и массу одинаковую. О массѣ мы судимъ по вѣсу: вѣсъ пропорционаленъ массѣ.

На самомъ дѣлѣ, конечно, опытъ съ поплавкомъ нельзя произвести съ достаточною точностію, и мы указали его лишь съ цѣлью уясненія понятій. Для точнаго изслѣдованія законовъ движенія мы должны возвратиться къ изученію дѣйствія тяжести на тѣла. Снарядъ удобный для изученія вліянія массы на движеніе есть *машина Атвуда*, которую опишемъ въ слѣдующемъ параграфѣ.

Слѣдующій простой опытъ также показываетъ вліяніе массы на движеніе. Мы можемъ ногою оттолкнуть лодку отъ берега и заставить ее пройти нѣкоторое пространство. Легко убѣдиться, что отъ толчка одинаковой силы нагруженная лодка придетъ въ болѣе медленное движеніе, чѣмъ пустая.

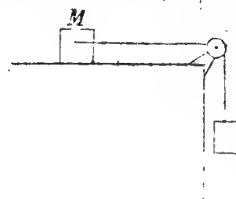
Не должно думать, что такъ какъ тяжесть на лунѣ въ шесть разъ менѣе чѣмъ на землѣ, то ядро выброшенное тою же силою пороха приобретаетъ на лунѣ въ шестеро большую скорость. Это не вѣрно. Приобрѣтаемая скорость зависитъ отъ массы, а не отъ вѣса и будетъ та же самая; но разстояніе какое ядро пролетитъ, прежде чѣмъ коснется почвы, на лунѣ значительнѣе. Подобную ошибку дѣлали нѣкоторые ученые, говоря объ изверженіяхъ лунныхъ вулкановъ и считывая, что при данной силѣ изверженія тѣло выбрасываемое изъ луннаго кратера должно будто бы имѣть въ шесть разъ большую скорость чѣмъ на землѣ, ибо тѣло это на лунѣ въ шесть разъ легче.

§ 441. *Атвудова машина*. Представимъ себѣ гирию, висящую на нити, которая (фиг. 645) перекинута черезъ блокъ, и прикреплена къ тѣлу *M* лежащему на плоскости. Гирия и тѣло представляютъ одну систему. Если эта система ничѣмъ не удерживается, то она приходитъ въ движеніе: гирия опускается, увлекая за собою тѣло. Сила, производящая движеніе, есть вѣсъ гири. Вѣсъ тѣла *M* прямо не имѣетъ влія-

нія на величину движущей силы, ибо тяжесть, дѣйствуя сверху внизъ, не стремится двигать тѣло по плоскости ни вправо, ни влѣво. Тѣло *M* замедляетъ движеніе гири и притомъ главнымъ образомъ не потому, что имѣетъ вѣсъ, а потому, что имѣетъ массу. Еслибы земля дѣйствовала притягательно только на гирию, а тѣло не имѣло бы вѣса и слѣд. не оказывало бы никакого давленія на плоскость, то движеніе гири тѣмъ не менѣе было бы замедлено. Вѣсъ тѣла *M* только осложняетъ явленіе, ибо служитъ причиною *тренія*, которое дѣйствуетъ какъ сила направленная противоположно дѣйствию гири. На практикѣ нельзя уничтожить треніе, и оно тѣмъ больше, чѣмъ больше вѣсъ тѣла. Потому, говоря строго, тѣло участвуетъ двоякимъ образомъ въ явленіи: во-первыхъ потому что имѣетъ массу; во-вторыхъ потому, что имѣетъ вѣсъ, прижимающій его къ плоскости и служащій причиною тренія.

Въ случаѣ тѣла скользящаго по плоскости треніе велико. Но измѣнивъ расположеніе опыта, можно, безъ значительнаго тренія, достигъ той же цѣли, какой мы предполагали достигъ помощью тѣла, скользящаго по плоскости.

Перекинемъ нить, держащую гирию (фиг. 646), черезъ блокъ и привѣсимъ къ ней вторую гирию. Если эти двѣ гири равны между собою, то дѣйствіе вѣса первой уничтожится дѣйствию второй, и обѣ останутся въ равновѣсіи. Соединенныя такимъ образомъ двѣ гири мы можемъ разсматривать какъ систему, на которую не дѣйствуетъ никакая движущая причина. Но положимъ, что одна изъ гирь вѣситъ больше, чѣмъ другая; присоединимъ, на примѣръ, къ одной изъ гирь при-

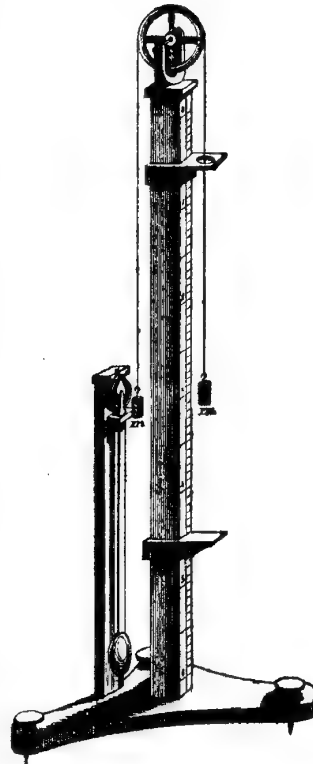


Фиг. 645.

бавокъ въса p . Тогда этотъ прибавочный въсъ будетъ дѣйствовать, какъ движущая сила. Назвавъ массу каждой изъ гирь M , массу прибавка m , можемъ сказать, что въ разсматриваемомъ случаѣ сила p дѣйствуетъ на систему состоящую изъ двухъ гирь и прибавка или, другими словами, на массу $2M+m$. Гири имѣютъ такое же значеніе, какъ тѣло M въ предыдущемъ опытѣ, и служатъ, вслѣдствіе своей массы, для замедленія движенія. Кромѣ гирь приводится въ движеніе самый блокъ имѣющій также массу. Но на вліяніе массы блока не будемъ обращать вниманіе, предполагая блокъ очень легкимъ и слѣд. массу его очень малою.

Гири обыкновенно состояются изъ отдѣльныхъ, наложенныхъ одинъ на другой металлическихъ кружковъ. Перекладывая кружки съ одной гири на другую можемъ измѣнять величину дѣйствующей силы, не присоединяя прибавочнаго груза m и сохраняя движущуюся массу $2M$ безъ измѣненія.

Чтобы измѣрять проходимое въ данное время пространство, помѣщаютъ неподвижное препятствіе на такой высотѣ, что падающая гиря ударяется въ него въ одинъ моментъ съ опредѣленнымъ ударомъ маятника измѣряющаго время. Чтобы измѣрять скорость соответствующую данной точкѣ пути, даютъ той ча-



Фиг. 646.

сти падающей гири которая представляетъ избытокъ ея въса сравнительно съ другою гирею, — форму пластинки (фиг. 647) и помѣщаютъ въ той точкѣ пути для которой желаютъ опредѣлить скорость только чрезъ которое гиря проходитъ свободно, но пластинка не можетъ пройти. Какъ скоро пластинка снята, дѣйствіе избытка въса, ускоряющее движеніе, прекращается, и гири продолжаютъ двигаться равномерно съ приобретенною скоростью. Скорость эту не трудно опредѣлить, устроивъ такъ, чтобы нѣкоторый ударъ маятника совпадалъ съ моментомъ прохожденія гири чрезъ кольцо, а одинъ изъ слѣдующихъ съ моментомъ ея паденія на неподвижное препятствіе.



Фиг. 647.

Описанный снарядъ по имени изобрѣтателя именуется машиною Атвуда (Atwood, англійскій ученый середины прошлаго столѣтія). Въ Атвудовой машинѣ треніе также участвуетъ въ явленіи, но оно незначительно и ограничивается треніемъ оси блока о подставку на которыхъ она помѣщена.

Пользуясь машиною Атвуда, мы можемъ, во-первыхъ, оправдать законы равномерно-ускореннаго движенія падающихъ тѣлъ. Пусть, напримѣръ, опускающаяся гиря, при началѣ движенія, въ промежутокъ между двумя ударами маятника (въ первую секунду паденія, если маятника бьетъ секунды) проходить 4 сантиметра. Тогда должно неподвижное препятствіе помѣстить на разстояніи отъ начала движенія равному $4 \cdot 2^2 = 16$ цент.; $4 \cdot 3^2 = 36$ цент.; $4 \cdot 4^2 = 64$ цент. чтобы ударъ о препятствіе совпадалъ съ третьимъ, четвертымъ, пятымъ ударомъ маятника.

Если помѣстить кольцо (фиг. 647) на разстояніи 4 центиметровъ отъ начала, то препятствіе надо поставить на разстояніи $4 + 4 \cdot 2 = 12$ ц.; $4 + 4 \cdot 2 + 4 \cdot 2 = 20$ ц.; $4 + 4 \cdot 2 + 4 \cdot 2 + 4 \cdot 2 = 28$ цент. чтобы ударъ о

препятствие совпадалъ съ третьимъ, четвертымъ, пятымъ ударомъ маятника (съ момента когда гири прошла чрезъ кольцо, движение сдѣлалось равномернымъ со скоростью 4.2 = 8 цент.).

Для этой цѣли прибавимъ къ нашимъ гирямъ по столько кружковъ, чтобы всѣ гири сдѣлались вдвое больше прежняго. Напримѣръ, если прежде одна гиря состояла изъ 18, другая изъ 22 кружковъ (такъ что общая масса заключала въ себѣ 40 кружковъ), то, присоединивъ къ каждой гирѣ по 20 кружковъ, получимъ общую массу вдвое больше прежняго (изъ 80 кружковъ распределенныхъ такъ, что въ первой гирѣ ихъ 38, во второй 42). Избытокъ вѣса второй, равняющийся 4 кружкамъ, остается прежній; следовательно сила не измѣнилась. Въ такомъ случаѣ пространство a и ускореніе g уменьшатся вдвое и будутъ $\frac{1}{2}a$ и $\frac{1}{2}g$. Еслибы мы увеличили массу второе, то пространство и ускореніе уменьшились бы втрое и были бы $\frac{1}{3}a$ и $\frac{1}{3}g$. Итакъ, въ случаѣ дѣйствія силы данной величины на тѣла различной массы, проходимое въ первую секунду пространство и приобретаемое въ продолженіе секунды ускореніе обратно пропорциональны массѣ движущагося тѣла.

Если мы хотимъ, чтобы, не смотря на увеличеніе массы, движеніе осталось безъ перемѣны, то мы должны въ томъ же отношеніи увеличить дѣйствующую силу. Въ нашемъ примѣрѣ, для того чтобы масса изъ 80 пластинокъ двигалась такъ какъ движется масса изъ 40 пластинокъ отъ силы равной 4, мы должны величину движущей силы сдѣлать равною 8, и слѣд. расположить пластинки такъ чтобы на одной гирѣ ихъ было 36, на другой 44. Другими словами, силы P и Q должны относиться между собою какъ массы m и m' , если мы желаемъ, чтобы, дѣйствуя на эти массы, онѣ производили одинаковое ускореніе, т.-е.

$$\frac{P}{Q} = \frac{m}{m'}$$

Если сила P , дѣйствуя на массу m , производитъ ускореніе g , то ускореніе g' , которое она произведетъ дѣйствуя на массу m' , найдется изъ пропорціи

$$\frac{g}{g'} = \frac{m'}{m}, \text{ или } m'g' = mg.$$

Пусть гири надъ которыми мы дѣлали опыты состояли изъ мѣдныхъ кружечковъ. Замѣнимъ нѣкоторыя или всѣ эти кружечки свинцовыми того же вѣса. Увидимъ что движеніе не перемѣнится. Заключаемъ, что два тѣла одинаковаго вѣса имѣютъ и массу одинаковую; другими словами что вѣсъ пропорционаленъ массѣ.

Пропорционалностію вѣса массѣ тѣла объясняется то явленіе что тѣла различнаго вѣса, двигаясь по наклонной линіи даннаго наклона (напримѣръ при высотѣ h и длинѣ l) двигаются одинаково, проходя въ первую секунду то же пространство a и приобретаая то же ускореніе g . Пусть первое тѣло имѣетъ, напримѣръ, вѣсъ p , второе $2p$. Слагающая сила, дѣйствующая по направленію движенія, будетъ въ первомъ случаѣ $p \cdot \frac{h}{l}$, во второмъ $2p \cdot \frac{h}{l}$, и слѣдовательно

увеличится вдвое. Еслибы масса въ обоихъ случаяхъ была одинакова, то ускореніе во второмъ должно бы быть вдвое болѣе перваго, но какъ масса въ свою очередь увеличилась вдвое, то это обстоятельство уменьшаетъ ускореніе также вдвое. Такимъ образомъ ускореніе вслѣдствіе увеличенія силы увеличивается вдвое, а вслѣдствіе увеличенія массы уменьшается вдвое. Потому оно должно остаться безъ перемѣны.

Отсюда можно вывести заключеніе, что не только на наклонной плоскости, но и при вертикальномъ паденіи тѣла различнаго вѣса должны падать съ одинаковою скоростью; ибо во сколько разъ болѣе сила дѣйствующая на тяжелѣйшее изъ двухъ тѣлъ, во сколько же разъ и масса этого послѣдняго болѣе массы перваго.

§ 142. Измѣреніе силъ произведеніемъ массы на ускореніе или количествомъ движенія приобретаемымъ въ единицу времени. Допустимъ что дѣйствуетъ постоянная сила

P и P' , действуя на массы m и m' , производят ускорения g и g' . Легко доказать, что

$$\frac{P}{P'} = \frac{mg}{m'g'}.$$

Действительно, положимъ что есть третья сила Q , которая, действуя на массу m' , производитъ ускорение g . Тогда

$$\frac{P}{Q} = \frac{m}{m'} \quad \text{и} \quad \frac{Q}{P} = \frac{g}{g'}$$

ибо P и Q производятъ одинаковое ускорение g ; Q и P действуютъ на одинаковую массу m' .

Отсюда, перемноживъ уравненія, получаемъ

$$\frac{P}{P} = \frac{mg}{m'g'}$$

Слѣдовательно

$$P = \frac{P'}{m'g'} \cdot mg.$$

Эту формулу можно упростить, относя величины P' , m' , g' къ простѣйшему случаю, когда сила P' , действующая на массу m' , равна единицѣ (одному килограмму, ибо за единицу силъ мы условились въ § 436 принимать килограммъ).

Избравъ приличную единицу для измѣренія массы именно условившись за единицу массы считать количество вещества, заключающагося въ 9,8 килограммахъ, можно всю величину $\frac{P'}{m'g'}$ сдѣлать равною единицѣ.

Еслибы мы приняли за единицу массы количество вещества, заключающееся въ единицѣ вѣса, въ кило

граммъ, то $\frac{P'}{m'g'}$ не было бы равно единицѣ. Въ такомъ случаѣ мы имѣли бы $P' = 1$, $m = 1$, но g' не было бы равно единицѣ, ибо дѣйствіе силы равной единицѣ на количество вещества, заключающагося въ единицѣ вѣса, есть не что иное какъ случай свободного паденія тѣла котораго вѣсъ равенъ единицѣ. Въ случаѣ же свободного паденія ускореніе равно 9,8 метр., а не одному метру.

Но если мы за единицу массы примемъ количество вещества заключающагося въ 9,8 килограммахъ, тогда предыдущая величина обратится въ единицу. Действительно, если $m' = 1$ означаетъ количество вещества, заключающагося въ 9,8 килограммахъ, то сила $P' = 1$ килограмму, действуя на 9,8 килограммовъ (напримѣръ при помощи Атъудовой машины), производитъ ускореніе $g' = 1$ и слѣдовательно будемъ имѣть

$$\frac{P'}{m'g'} = 1$$

Въ такомъ случаѣ

$$P = mg$$

Величина силы равняется произведенію массы на ускореніе. Произведеніе массы тѣла на его скорость именуется вообще количествомъ движенія. Величина mg есть слѣд. количество движенія приобретаемое тѣломъ къ концу первой секунды. Оно служитъ мѣрою силы.

Изъ формулы $P = mg$ имѣемъ

$$m = \frac{P}{g}.$$

Слѣд. масса, по числовой величинѣ, есть отношеніе силы къ ускоренію.

§ 443. Абсолютное измѣреніе силъ. Чтобы привести къ согласію статическое измѣреніе силъ по сравненію съ единицею вѣса и динамическое по количеству движенія приобретаемаго въ единицу времени, потребовалось, какъ мы видѣли въ предыдущемъ параграфѣ за единицу массы принять количество вещества заключающееся въ g единицахъ вѣса. Но такое условіе слишкомъ искусственно. Гораздо естественнѣе принять за единицу массы то количество вещества какое заключается въ единицѣ вѣса. За единицу же силы выбрать не вѣсъ, мѣняющійся на разныхъ пунктахъ земли, а такую силу которая, дѣйствуя впродолженіе секунды, сообщила бы единицѣ массы скорость равную единицѣ, то-есть одинъ метръ. Эта сила была бы равна вѣсу гири въ одинъ килограммъ еслибы гиря эта была не на землѣ, а на такой планетѣ гдѣ падающія тѣла приобретаютъ въ концѣ первой секунды паденія скорость не 9,8 метровъ какъ на землѣ, а лишь 1 метръ (проходить слѣд. въ первую секунду полметра). Вѣсъ же килограмма матеріи на землѣ выразится въ такомъ случаѣ числомъ 9,8 или g . Такимъ образомъ единица силы въ g разъ менѣе вѣса гири заключающей въ себѣ килограммъ вещества (то-есть которой масса есть единица). Измѣреніе силъ помощью такой единицы именуется *абсолютнымъ измѣреніемъ*.

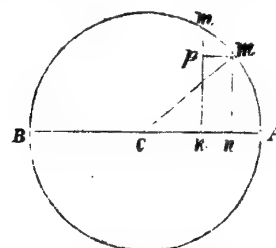
§ 444. Измѣреніе переменныхъ силъ. Сила постоянная измѣряется количествомъ движенія сообщаемымъ ею тѣлу въ единицу времени. Силу *переменную* условились измѣрять тѣмъ количествомъ движенія какое она сообщила бы тѣлу еслибы начиная съ разсматриваемаго момента, осталась постоянною въ теченіи единицы времени. Если законъ возрастанія скорости извѣстенъ въ данномъ случаѣ, то можно опредѣлить ускореніе, то-есть приращеніе скорости въ единицу времени, какое послѣдовало бы если бы, начиная съ данного момента, сила сохранила свою величину, и скорость возрастала бы какъ возрастаетъ она въ равномерно-ускоренномъ движеніи (это ускореніе помноженное на массу тѣла дадо бы искомое количество движенія). Во всякомъ случаѣ мы получимъ величину весьма близкую къ этому ускоренію, если приращеніе скорости проис-

шедшее въ очень малое время раздѣлимъ на величину этого времени. Дѣйствительно, если скорость въ теченіе малаго промежутка времени τ получить приращеніе w , то приращеніе скорости въ единицу времени или ускореніе g ,—предполагая что въ каждый промежутокъ τ скорость получаетъ одинаковое приращеніе (такъ бываетъ если дѣйствіе силы останется постояннымъ)—найдется изъ пропорцій $g:w=1:\tau$ откуда $g=\frac{w}{\tau}$.

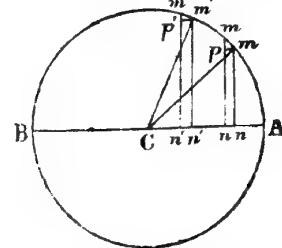
Эта величина тѣмъ ближе будетъ подходить къ искомой величинѣ ускоренія чѣмъ менѣе вообразимъ промежутокъ τ . Въ предѣлѣ, который можно угадать, она выразитъ истинную величину искомага ускоренія.

Если изобразить графически законъ данного движенія помощью кривой скоростей то, принимая въ соображеніе что кривая скоростей, въ случаѣ равномерно-ускореннаго движенія и слѣд. постоянной силы, обращается въ прямую линію и что каждую кривую можно разсматривать состоящую изъ прямолінейныхъ элементовъ, не трудно наглядно показать, что движеніе переменное можно разсматривать какъ состоящее изъ ряда равномерно-ускоренныхъ и переменную силу какъ постоянную впродолженіе очень малаго промежутка времени. Ускореніе соответствующее концу данного времени, служащее (будучи помножено на массу) мѣрою силы въ разсматриваемый моментъ, найдемъ, опредѣливъ тангенсъ угла касательной къ кривой скоростей въ соответствующей точкѣ. Разсужденіе подобное тому какому въ § 431 на основаніи кривой пространствъ опредѣляли величину скорости: здѣсь на основаніи кривой скоростей выводимъ величину ускоренія.

Приложимъ эти разсужденія къ случаю гармоническаго движенія. Опредѣлимъ въ этомъ случаѣ, по извѣстному закону измѣненія скорости, законъ измѣненія ускоренія въ разныхъ точкахъ пути, а слѣдов. и законъ какому должна удовлетворять величина переменнй силы способной произвести движеніе этого рода. Въ § 430 доказано, что въ движеніи гармоническомъ скорость (снг. 648 и 649) отъ точки A къ точкѣ C возрастаетъ пропорціонально ординатамъ mp , kl ... Но если ординаты изо-



Фиг. 648.



Фиг. 649.

бражают такимъ образомъ скорости соответствующія разнымъ точкамъ пути m , m' и т. д., то приращенія скорости соответствующія равнымъ промежуткамъ времени τ (въ эти промежутки равномернымъ движениемъ проходятся равныя дуги mm' , $m'm''$, а гармоническимъ неравныя линіи mn , $m'n'$) въ точкахъ n и n' , а слѣд. и силы дѣйствующія въ этихъ точкахъ относятся между собою какъ малыя приращенія tr , $t'r'$ ординатъ mn и $m'n'$. Но по причинѣ подобія треугольниковъ mCn и $m't'r'$; $m'Cn'$ и $m't'r'$, линіи tr и $t'r'$ относятся между собою какъ nC и $n'C$, слѣд. силы дѣйствующія на тѣло въ точкахъ n и n' относятся между собою какъ разстоянія отъ средней точки C .

Отсюда, наоборотъ, можно заключить, что когда тѣло отклоненное отъ положенія равновѣсія привлекается къ этому положенію силою, величина которой тѣмъ болѣе чѣмъ болѣе отклоненіе (сила пропорціональна отклоненію), то происходящее качательное движеніе будетъ гармоническимъ. Мы видали, что въ случаѣ маятника сила гонящая его по описываемой малой дугѣ пропорціональна дугѣ отклоненія. Слѣдов. движеніе маятника должно происходить по закону гармоническаго движенія, съ тою лишь разницею, что въ разсмотрѣнномъ нами случаѣ гармоническаго движенія тѣло предполагалось начинающимся по прямой линіи, — по диаметру AB ; въ случаѣ же маятника качаніе происходитъ по дугѣ. Но если начертимъ прямую линію той же длины какъ дуга описываемая маятникомъ то, очевидно, можемъ воспользоваться теоремой о гармоническомъ движеніи, построивъ на этой линіи какъ на диаметръ кругъ (радіусъ котораго будетъ слѣдов. равенъ длинѣ половины размаха) и предполагая что нѣкоторая точка движется равномернымъ движениемъ по кругу, описывая его въ то самое время въ какое маятникъ дѣлаетъ размахъ взадъ и впередъ. Продолженіе этой точки на диаметръ будетъ двигаться точно такъ по диаметру, какъ маятникъ движется по дугѣ качанія. Если известна скорость движенія по кругу, равная скорости гармоническаго движенія въ моментъ прохожденія чрезъ среднюю точку пути C , то не трудно найти время качанія. Этимъ воспользуемся ниже въ главѣ о маятникѣ.

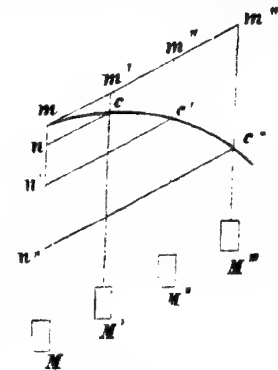
§ 445. Дѣйствіе силы на тѣло движущееся не по ея направленію. Второй законъ движенія: „сила дѣйствуетъ одинаково какъ на тѣло находящееся въ движеніи такъ и на тѣло находящееся въ покоѣ,“ который выраженъ въ § 20 какъ выводъ изъ наблюденія надъ явленіями въ движущейся системѣ тѣлъ сравнительно съ явленіями въ покоящейся, позволяетъ разрѣшить вопросъ дѣйствія силы на тѣло движущееся не по ея направленію.

Представимъ себѣ что, вслѣдствіе дѣйствія какой-

нибудь причинны, тѣло приобрѣло движеніе по опредѣленному направленію и, по закону инерціи, движется по этому направленію равномерно съ приобрѣтенною скоростію (такое движеніе имѣла бы, напримѣръ, вылетѣвшая изъ ружья пуля, еслибы на нее не дѣйствовала тяжесть). Пусть въ то же время на это тѣло дѣйствуетъ другая причина, которая, еслибы оно было въ покоѣ, заставила бы его двигаться по своему направленію движеніемъ перемѣннымъ. Какое движеніе произойдетъ при совмѣстномъ существованіи начальной скорости и дѣйствующей причины? Пользуясь закономъ относительнаго движенія, этотъ вопросъ легко разрѣшить въ слѣдующемъ частномъ случаѣ, а потомъ полученное заключеніе можно распространить и на другіе случаи, болѣе общіе.

Представимъ себѣ (фиг. 650), что на линіи mM находится тѣло m и другое M , притягивающее первое (можемъ, напримѣръ, вообразить, что m есть кусокъ желѣза, M магнитъ). Еслибы линіи mM находилась въ покоѣ, то тѣло m двигалось бы, приближаясь къ M и переходя послѣдовательно чрезъ $1''$, $2''$ и т. д. въ точки n , n' , n'' ...

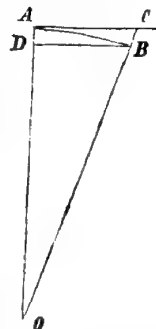
Но допустимъ, что сама линіи mM , движется равномерно и переходитъ послѣдовательно въ положенія $m'M'$, $m''M''$... и т. д. Тогда чрезъ $1''$ система mM , перейдетъ въ положеніе $m'M'$; въ то же время тѣло m пройдетъ по самой линіи mM пространство равное mn ; слѣдов. оно будетъ находиться въ точкѣ c , которую найдемъ, проведя линію nc параллельно направленію mm'' , по которому перемѣщается разсматриваемая система. Чрезъ



Фиг. 650.

Чрезъ

женіе впродолженіе очень краткаго промежутка времени, то въ этотъ краткій промежутокъ величина и направленіе силы не измѣнятся замѣтнымъ образомъ, и мы можемъ воспользоваться предыдущимъ разсужденіемъ. Такимъ образомъ, если отъ дѣйствія силы направленной къ точкѣ O тѣло впродолженіе очень краткаго времени прошло линію AB , то, принимая линіи AO и BO , по малости угла AOB , за параллельныя между собою и проведя BD параллельно касательной AC , мы можемъ разсматривать линію AD какъ пространство, которое тѣло прошло бы впродолженіе краткаго времени, еслибъ оно было въ точкѣ A безъ начальной скорости и на него дѣйствовала сила параллельно AO . По величинѣ пространства AD можно судить о величинѣ самой силы.



Фиг. 652.

Движеніе планетъ около солнца можно разсматривать какъ случай движенія происходящаго отъ силы направленной къ солнцу какъ центру притяженія. Еслибы путь описываемый данною планетою былъ точный кругъ, то движеніе, какъ показываетъ теорія, было бы равномернымъ и силу можно было бы разсматривать какъ постоянную *).

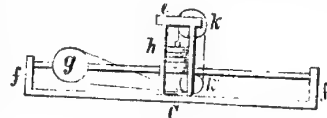
Случай равномернаго движенія по кругу представляетъ также тѣло приводимое въ равномерное вращеніе на станкѣ центробѣжной машины. Начала развитія въ настоящей главѣ позволяютъ опредѣлить величину обнаруживающейся въ этомъ случаѣ центробѣжной силы.

Дѣйствительно, какъ мы видѣли въ § 20 перваго отдѣла, несвободное тѣло приведенное въ равномерное круговое движеніе дѣйствуетъ на удерживающее его препятствіе по направленію радіуса отъ центра къ окружности. По закону дѣйствія равнаго противодѣйствію слѣдуетъ, что препятствіе въ свою очередь дѣйствуетъ на тѣло по тому же направленію, но въ противоположную сторону, т.е. отъ окружности къ центру.

*) Эти заключенія выведены Ньютонѣмъ изъ законовъ Кеплера: 1) планеты обращаются вокругъ солнца по эллипсису въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится солнце; 2) площади описываемыя радіусами векторами пропорціональны временамъ.

Такимъ образомъ дѣйствіе препятствія можно разсматривать какъ силу которая тянетъ тѣло къ центру.

Это положеніе можно подтвердить опытомъ. Пусть тѣло удерживается на постоянномъ разстояніи отъ центра вращенія помощію нити. Но вмѣсто того чтобы укрѣплять эту нить неподвижно въ центрѣ вращенія, перекинемъ ее черезъ блокъ и привѣсимъ на ея концѣ грузъ. Этому грузу можно дать такую величину, что, при нѣкоторой определенной скорости вращенія, дѣйствіе его на тѣло, направленное, очевидно, отъ окружности къ центру, уравниваетъ дѣйствіе центробѣжной силы. Нить можно расположить, какъ показано на фиг. 653; ее перекидываютъ чрезъ два блока, для того чтобы грузъ находился въ центрѣ движенія. Въсь этого груза представляетъ силу, дѣйствующую на тѣло и уравнивающую собою центробѣжную силу.



Фиг. 653.

Итакъ можно заключить, что, въ случаѣ круговаго движенія несвободнаго тѣла препятствіе дѣйствуетъ на тѣло какъ сила постоянной величины, направленная къ центру движенія.

Но постоянная сила, еслибы дѣйствовала въ точкѣ A (фиг. 652) на тѣло не имѣющее пріобрѣтенной скорости, заставила бы тѣло, впродолженіе малаго времени τ когда оно дѣйствительнымъ движеніемъ переходитъ изъ A въ B , пройти равномерно-ускореннымъ движеніемъ пространство AD опредѣляемое помощію линіи BD проведенной параллельно AC . По закону дѣйствія постоянной силы, пространство AD , пройденное впродолженіе времени τ , выразится формулою:

$$AD = \frac{g\tau^2}{2}$$

гдѣ g есть ускореніе, пріобрѣтаемое тѣломъ впродолженіе секунды отъ дѣйствія разсматриваемой силы.

Малую дугу AB можно принять равною хордѣ AB . Въ такомъ случаѣ (такъ какъ хорда есть средняя пропорціональная между всѣмъ діаметромъ и прилежащимъ къ ней отрезкомъ)

$$AD = \frac{AB^2}{2r},$$

гдѣ r есть радіусъ круга, по которому происходитъ движеніе. Вставляя величину AD въ предыдущее уравненіе и опредѣливъ g , получимъ:

$$g = \frac{2AD}{r^2} = \frac{2AB^2}{r^2} : 2r$$

Но $\frac{AB}{r}$ выражает скорость разсматриваемого нами равномернаго движенія по кругу. Назовемъ ее буквою v . Слѣдовательно получимъ

$$g = \frac{v^2}{r}.$$

Величина g выражаетъ ускореніе. Величина самой движущей силы будетъ (назвавъ ее буквою F)

$$F = mg.$$

Или, вставивъ предыдущую величину g ,

$$F = \frac{mv^2}{r}.$$

Мы видимъ, что величина силы, производящей движеніе по кругу, пропорціональна массѣ тѣла, пропорціональна квадрату скорости, и обратно пропорціональна радіусу описываемаго круга.

Эти формулы можно выразить иначе. Такъ какъ движеніе равномерно, то скорость получимъ, если раздѣлимъ пройденный путь на время. Пусть T изображаетъ время, продолженіе котораго тѣло дѣлаетъ полный оборотъ и слѣдовательно описываетъ цѣлую окружность $2\pi r$. Тогда

$$v = \frac{2\pi r}{T}.$$

И, вставивъ въ предыдущія выраженія, получимъ:

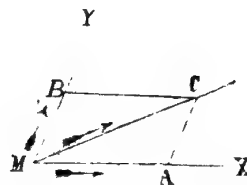
$$g = \frac{4\pi^2 r}{T^2}, \text{ а слѣд. } F = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

Изъ этой формулы можно заключить, что если два тѣла одинаковой массы движутся по окружностямъ разныхъ радіусовъ, и описываютъ ихъ въ одно и то же время T , то сила дѣйствующая на большемъ кругѣ, во столько разъ больше той, кото-

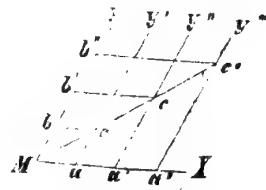
рая дѣйствуетъ на маломъ, во сколько радіусъ перваго больше втораго.

Теоретическое разсужденіе, которымъ мы пользовались, прилагается ко всѣмъ случаямъ равномернаго движенія по кругу. Въ случаѣ свободнаго тѣла предыдущая формула выражаетъ величину *центростремительной* силы тянущей тѣло къ центру движенія. Въ случаѣ несвободнаго тѣла она выражаетъ, съ одной стороны дѣйствіе препятствія замѣняющее собою *центростремительную* силу, съ другой величину *противодѣйствія* какое тѣло оказываетъ удерживающему его препятствію, т.-е. величину *центробѣжной* силы.

§ 446. Раздѣленіе силъ по продолжительности дѣйствія. Сложеніе движеній. По продолжительности дѣйствія силы раздѣляютъ иногда на *мигновенныя* и *непрерывныя*. Есть силы, которыхъ дѣйствіе продолжается очень короткое время, въ которое тѣмъ не менѣе они успѣваютъ сообщить тѣлу больше или менѣе значительную скорость. Такова, напримѣръ, сила пороха, дѣйствіе которой продолжается только то время когда пуля находится въ дулѣ ружья. Когда пуля вылетаетъ изъ ружья, давленіе на нее газовъ, въ которыя превратился порохъ, прекращается, и пуля летитъ вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости. Толчокъ сообщаемый тѣлу ударомъ, толчокъ какой мы даемъ собственному тѣлу при скачкѣ вверхъ также примѣры кратковременнаго дѣйствія силъ. Если новая скорость сообщается тѣлу имѣющему уже скорость и притомъ не по направленію этой послѣдней, то скорости эти на основаніи втораго закона движенія складываются по закону параллелограмма, именуемаго въ этомъ случаѣ *параллелограммомъ скоростей*. Такимъ образомъ, если тѣлу имѣющему по направленію MX скорость, величину которой изобразимъ линіею MA , сообщается новая скорость по направленію MY и величина которой есть MB , то скорость движенія которое произойдетъ отъ совмѣстнаго дѣйствія этихъ двухъ при-



Фиг. 654.

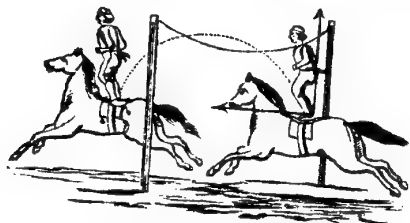


Фиг. 655.

чинъ изобразится *диагональю параллелограмма, построеннаго на линіяхъ MA и MB*. Дѣйствительно, линію MY по которой тѣло перемѣщалось бы, еслибы, будучи первоначально въ покоѣ, пріобрѣло скорость MB , можно разсматривать какъ систему

которой принадлежит тѣло M и которая сама перемѣщается въ положенія $a'Y'$, $a'Y''$, $a''Y'''$ и т. д. Еслибы тѣло M не имѣло скорости по направленію MY , то перемѣнялось бы въ точки a , a' , a'' ..., то-есть имѣло бы то самое движеніе какое приписываемъ ему согласно первоначальному предположенію. Но вслѣдствіе скорости по MY , въ то время какъ линія MY перейдетъ въ положеніе $a'Y'$, тѣло M пройдетъ по ней пространство, равное Mb , и слѣдовательно будетъ находиться въ точкѣ c , которую найдемъ, проведя bc параллельно MX . Когда MY перейдетъ въ положеніе $a'Y''$, точка M пройдетъ пространство, равное Mb' , и будетъ находиться въ точкѣ c' и т. д. Слѣдовательно движеніе разсматриваемой точки будетъ по линіи Mcc' ... или по *диагонали параллелограмма*, построеннаго на линіяхъ Ma'' и Mb'' , изображающихъ пространства проходимыя точкою M въ одинаковое время отъ перваго и втораго движенія въ отдѣльности,—пространства пропорціональныя скоростямъ этихъ движеній.

Волтижеръ, скачущій на лошади (фиг. 656) и перепрыгивающій черезъ какое-нибудь препятствіе, также представляетъ



Фиг. 656.

примѣръ сложенія движеній. Желая перепрыгнуть черезъ препятствіе, волтижеръ дѣлаетъ скачокъ вверхъ. Еслибы лошадь была въ покоѣ, то вслѣдствіе этого скачка онъ поднялся бы вверхъ съ извѣстною скоростію. Но такъ какъ лошадь движется, то волтижеръ имѣетъ *приобретенную скорость*. Отъ совокупнаго дѣйствія скачка и приобретенной скорости движеніе произойдетъ по диагонали параллелограмма, построеннаго на скоростяхъ, но такъ какъ на тѣло волтижера дѣйствуетъ кромѣ того тяжесть, то онъ опоншетъ не прямую линію, а кривую, и опять попадетъ на сѣдо.

Ученіе о работѣ силъ.

§ 447. Понятіе о работѣ и ея измѣреніи. Работать въ механическомъ смыслѣ значить двигать тѣла, побѣждая препятствія, противопоставленныя ихъ движенію. Такъ, мы можемъ: 1) двигать пилу, рѣзецъ, ножницы, молотъ, вообще какое-либо *орудіе*, производящее дѣйствіе опредѣленнаго рода; 2) передвигать *грузъ* по горизонтальному направленію: катить камень, везти экипажъ и т. п.; 3) поднимать *грузъ*. Во всѣхъ этихъ случаяхъ, чтобы двигать тѣло, необходимо преодолевать сопротивленіе, противодѣйствующее движенію. Въ случаѣ орудія, главное сопротивленіе происходитъ отъ тѣхъ тѣлъ на которыя орудіе дѣйствуетъ, измѣняя ихъ опредѣленнымъ образомъ. Такъ, дѣйствуя пилой, работникъ свое усиліе употребляетъ главнымъ образомъ на то, чтобы раздѣлить частицы дерева, *пилитъ* его. Когда грузъ передвигается по горизонтальному направленію, то главное препятствіе, которое должно преодолевать, есть *треніе*. Чтобы поднять грузъ, надо побѣдить его *вѣсъ*, который въ такомъ случаѣ играетъ роль препятствія движенію.

Примѣръ, представляемый грузомъ, поднимаемымъ на опредѣленную высоту, позволяетъ составить ясное представленіе о значеніи и измѣреніи работы. Понятно, что въ этомъ случаѣ мы можемъ судить о работѣ, съ одной стороны, по величинѣ поднимаемаго груза, съ другой, по высотѣ, на которую этотъ грузъ поднимается, и что оба фактора эти имѣютъ равносильное значеніе. Чѣмъ значительнѣе грузъ и чѣмъ болѣе высота, тѣмъ болѣе производимая работа. Можемъ условиться принимать за единицу работы поднятіе опредѣленной единицы вѣса на единицу высоты и измѣрять величину работы произведеніемъ величины груза на высоту поднятія. Считая за единицу вѣса килограммъ, за единицу высоты метръ, можемъ принять, что работа, равная единицѣ, состоитъ въ поднятіи одного килограмма на одинъ метръ высоты. Эта единица работы выражается однимъ словомъ: *килограмметръ*. Еслибы за единицу вѣса приняли пудъ, а за единицу высоты футъ, то еди-

ница работы получила бы название *пудофута*. Поднятие двух килограммов на высоту одного метра или одного килограмма на два метра высоты составляет две единицы работы; работа, равная двадцати единицам, состоит в поднятии двадцати килограммов на один метр, или одного килограмма на двадцать метров. Двадцати же единицам будет равняться работа, состоящая в поднятии десяти килограммов на два метра, пяти на четыре и т. п.

Основываясь на том, что силы измѣряются по сравненію съ вѣсомъ, можно къ основной единицѣ работы привести не только всѣ случаи поднятія грузовъ на высоту, но и вообще всякую механическую работу. Чтобы показать, какимъ образомъ всякая работа можетъ быть выражена въ килограмметрахъ или пудофутахъ, представимъ себѣ, въ простѣйшей формѣ, общій случай работы. Пусть тѣло *A* (разсматриваемое какъ матеріальная точка) должно быть приведено въ движеніе отъ *A* къ *B* (фиг. 657) и пусть существуетъ сопротивленіе этому движенію. Это сопротивленіе можно представить въ видѣ вѣковой силы, дѣйствующей на тѣло *A*. Допустимъ, что величина этого сопротивленія остается постоянною во все время



Фиг. 657.

движенія, и что оно дѣйствуетъ прямо противоположно направлению движенія. Въ такомъ случаѣ его можно разсматривать какъ постоянную силу *Q*, направленную отъ *A* къ *C*. Эта сила имѣетъ опредѣленную величину, выражаемую въ единицахъ вѣса (такъ какъ силы измѣряются по сравненію съ вѣсомъ), напимѣръ 5, 9 и т. п. килограммовъ. Это значитъ: если бы такая сила тянула тѣло при помощи нити, то натяженіе нити было бы равно тому какое она претерпѣваетъ. Тогда на ней виситъ грузъ въ 5 или 9 килограммовъ.

Чтобы была работа, тѣло должно передвигаться, не смотря на сопротивленіе. Другими словами сопротивленіе должно быть побѣждено на протяженіи пути, по которому двигается тѣло. Единица которою измѣряется путь проходимый тѣломъ, есть метръ. Условимся считать преодоленіе сопротивленія, въ килограммъ величину, на протяженіи одного метра за единицу работъ. Это новое опредѣленіе не противорѣчитъ прежнему, заимствованному отъ случая поднятія груза, но имѣетъ болѣе общее значеніе. Въ случаѣ поднятія килограмма на одинъ метръ, вѣсъ этого килограмма представляетъ собою сопротивленіе, побѣждаемое на протяженіи одного метра. Такимъ образомъ единица работъ, *килограмметръ* представляетъ собою работу, потребную для того, чтобы преодолѣть на протяженіи метра постоянное препятствіе, разсматриваемое какъ

сила въ килограммъ величину; въ чистомъ же случаѣ поднятія груза—поднятіе одного килограмма на метръ высоты.

Въ случаѣ передвиженія тяжелаго тѣла по горизонтальному направленію, сила *Q* представляетъ собою величину тренія. Въ случаѣ орудія, сила *Q* означаетъ сопротивленіе, которое обрабатываемое тѣло противопоставляетъ движенію орудія.

Еслибы мы хотѣли нагляднѣе представить возможность выражать работу килограмметрами или пудофутами, то могли бы, въ случаѣ передвиженія тяжелаго тѣла *A* по горизонтальному направленію, вообразить, что къ тѣлу *A* прикреплена нить, перекинутая черезъ блокъ и несущая грузъ, который тянетъ тѣло отъ *A* къ *C* съ такою силою, съ какою во время движенія дѣйствуетъ по этому направленію треніе. Поднятію такого груза соответствовало бы преодоленіе тренія. Сопротивленіе, встречаемое тѣломъ или другимъ орудіемъ (предполагая это сопротивленіе постояннымъ) мы могли бы также представить въ видѣ груза, присоединеннаго помощію нити и блока къ орудію и увлекаемаго имъ во время движенія. Впрочемъ такой способъ приведенія всякой работы къ поднятію груза можетъ повести къ неточности и приложимъ только въ случаѣ равномернаго движенія тѣла или орудія. Хотя мы выражаемъ величину сопротивленія, какъ и всякой другой силы, опредѣленнымъ числомъ килограммовъ, однакожъ отсюда не слѣдуетъ, чтобы явленіе осталось то же самое, если мы замѣнимъ силу грузомъ въ то же число килограммовъ, приведеннымъ причиннымъ образомъ. Вводя грузъ, мы чрезъ это самое вводимъ новую массу, а присоединеніе новой массы измѣняетъ движеніе.

§ 448. Отношеніе между работою двигателя и работою сопротивленія. Для того чтобы сопротивленіе было побѣждено и работа произведена, необходима движущая причина или *двигатель*. Въ нашемъ простѣйшемъ случаѣ можемъ представить себѣ двигатель какъ силу *P*, дѣйствующую на тѣло противоположно сопротивленію и стремящуюся двигать тѣло отъ *A* къ *B*.



Фиг. 658.

Спрашивается какое отношеніе эта сила должна имѣть къ сопротивленію *Q* для того чтобы дѣйствіе сопротивленія было уничтожено, и тѣло двигалось бы по направленію отъ *A* къ *B*? Допустимъ, что сила *P* равна по величинѣ силѣ *Q*. Тогда понятно, что если тѣло находится первоначально въ покоѣ, оно не придетъ въ движеніе, ибо силы *Q* и *P* уничтожаются

взаимно. Въ такомъ случаѣ нѣтъ никакой работы. Но если тѣло помощію какой-либо посторонней причины уже приведено въ движеніе и *во время движенія* на него дѣйствуютъ съ одной стороны сила Q , съ другой сила P , равная и противоположная силѣ Q , то эти силы взаимно уничтожаются, скорость остается безъ измѣненія, и тѣло, по закону инерціи, движется равномерно. Въ то же время работа производится, ибо сопротивленіе побѣждается на протяженіи опредѣленнаго пути,

Здѣсь должно сдѣлать важное замѣчаніе. Для того чтобы движеніе осталось равномернымъ, необходимо чтобы величина силы P была равна той величинѣ сопротивленія какукъ это послѣднее имѣетъ *во время движенія*. По тѣмъ силамъ какия дѣйствуютъ на тѣло, пока оно удерживается въ покоѣ, нельзя судить о всей величинѣ сопротивленія, какое это тѣло будетъ испытывать во время движенія. Движеніе порождаетъ новыя сопротивленія, какъ треніе, сопротивленіе воздуха, которыхъ не бываетъ когда тѣло находится въ покоѣ. Въ случаѣ тѣла передвигаемаго по горизонтальному направленію и, обыкновенно, въ случаѣ орудія, сопротивленіе появляется только съ того момента, какъ тѣло приходитъ въ движеніе; пока тѣло въ покоѣ, величина Q равна нулю. Но, разумѣя подъ именемъ Q ту величину которую сопротивленіе имѣетъ во время движенія, можемъ сказать, что равенство силъ Q и P есть условіе требуемое для того, чтобы тѣло двигалось равномерно. Еслибы сила P была болѣе силы Q , такъ что было бы, напримѣръ, $P - Q = p$, то движеніе не осталось бы равномернымъ, но ускорилось бы вслѣдствіе избытка силы, который мы назвали p . Еслибы во время движенія величина силы P сдѣлалась менѣе Q , то движеніе начало бы замедляться. Прибавимъ что для приведенія въ движеніе тѣла, на которое

дѣйствуютъ сила P и сопротивленіе Q , можно обойтись и безъ посторонней силы; достаточно, чтобы вначалѣ сила P была больше сопротивленія Q . Тогда, повинувшись избытку силы, тѣло придетъ въ движеніе. Движеніе будетъ ускоряться, пока P будетъ болѣе Q . Оно сдѣлается равномернымъ, когда P будетъ равно Q .

Чтобы представить себѣ яснѣе взаимное отношеніе силъ P и Q различаютъ *работу двигателя* отъ *работы сопротивленія*. Произведеніе $Q \cdot h$ называютъ работою сопротивленія; произведеніе $P \cdot h$ работою двигателя. Величина h означаетъ путь, проходимый точкою приложенія каждой изъ силъ, путь, въ нашемъ простѣйшемъ примѣрѣ, одинаковый для силъ P и Q , такъ какъ онѣ обѣ непосредственно приложены къ тѣлу A .

Въ случаѣ, когда между P и Q находится рядъ посредствующихъ тѣлъ (случай машины), путь, проходимый точкою приложенія силы P , обыкновенно не одинаковъ съ тѣмъ, какой проходитъ точка приложенія силы Q .

Самое сопротивленіе Q можно разсматривать состоящимъ изъ двухъ частей: одна представляетъ полезное сопротивленіе, то-есть то, которое должно быть преодолено по цѣли работы, другое, такъ-называемое вредное сопротивленіе, сопровождающее первое.

Если движеніе равномерно, то $Qh = Ph$, такъ какъ $Q = P$. Слѣд. *работа двигателя равна работѣ сопротивленія*. Если P болѣе Q , такъ что $P - Q = p$, то

$$Ph - Qh = ph,$$

работа двигателя Ph болѣе работы сопротивленія Qh величиною ph .

Этотъ избытокъ работы идетъ на увеличеніе скорости движенія, и, какъ легко доказать, между величиною ph и приращеніемъ скорости существуетъ замѣчательное соотношеніе.

Пусть скорость тѣла A въ тотъ моментъ съ котораго мы начинаемъ разсужденіе, есть v . Тѣло A можно разсматри-

вать какъ свободное тѣло имѣющее массу m и подверженное дѣйствию силы $P-Q=p$. Величину p будемъ разсматривать какъ постоянную. Согласно § 442, $p=mg$.

По закону дѣйствія постоянной силы скорость по прошествіи времени t съ разсматриваемого момента, выразилась бы вѣрмую

$$v = v_0 + gt.$$

Пройденное впродолженіе времени t пространство было бы.

$$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}.$$

Исключимъ величину t изъ этихъ уравненій. Для этого достаточно первое возвести въ квадратъ

$$v^2 = v_0^2 + 2v_0 gt + g^2 t^2 \text{ или } \frac{v^2 - v_0^2}{2g} = v_0 t + \frac{gt^2}{2} = h.$$

Отсюда, такъ какъ $p = mg$

$$ph = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}.$$

Величина mv^2 и mv_0^2 именуются живою силою. Слѣдовательно работа силы дѣйствующей на тѣло, имѣющее начальную скорость, равняется половинѣ приращенія живой силы этого тѣла.

До сихъ поръ мы допускали, что двигатель и сопротивленіе приложены къ одному и тому же тѣлу. Но обыкновенно между двигателемъ и сопротивленіемъ находится цѣлый рядъ посредствующихъ тѣлъ. Достаточно привести нѣсколько примѣровъ двигателей, чтобъ убѣдиться въ необходимости такихъ посредствующихъ тѣлъ для того, чтобы данный двигатель могъ преодолевать данное сопротивленіе.

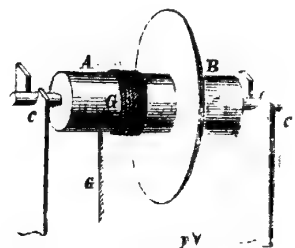
Сила человека, лошади (живые двигатели), вѣсъ опускающагося внизъ груза, текущая вода, нагрѣтый воздухъ, паръ, — вотъ различные примѣры двигателей. Въ большинствѣ случаевъ двигатель не можетъ непосредственно дѣйствовать на орудіе или грузъ. Нѣтъ, напримѣръ, возможности прямымъ дѣйствіемъ потока воды или вѣтра на пилу заставить ее пилить дрова, но вѣтеръ своимъ давленіемъ на крылья мельницы, вода на лопаты колеса легко могутъ привести въ движеніе мельницу и колесо, а соединяя определеннымъ образомъ ось колеса или ось крыльевъ съ пилою, можно заставить ее двигаться

взадъ и впередъ и пилить. Тѣ посредствующія части, однѣ неподвижныя, другія подвижныя, при помощи которыхъ дѣйствіе двигателя передается орудію или грузу, составляютъ машину.

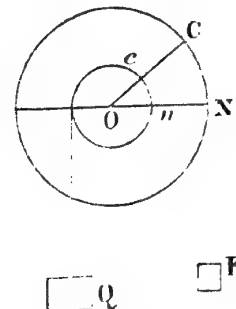
Теорема о работѣ прилагается къ вопросу о дѣйствіи машинъ. Когда двигатель побѣждаетъ сопротивленіе при посредствѣ машины, то обыкновенно точки приложенія силы и сопротивленія проходятъ не одинаковый путь. Теорема о равенствѣ работы двигателя и работы сопротивленія въ приложеніи къ машинамъ получаетъ особенно важное значеніе. Она научаетъ, что когда помощью малой силы при посредствѣ машины побѣждается большое сопротивленіе, то это происходитъ подъ условіемъ, чтобы точка приложенія силы проходила путь значительно большій, чѣмъ точка приложенія сопротивленія.

§ 449. Приложение теоремы о работѣ къ случаю ворота. Для большей простоты разсужденія допустимъ, что тренія и вредныя сопротивленія не существуютъ, и не будемъ обращать вниманія на массу самого ворота.

Работа силы F , которую будемъ представлять себѣ какъ нѣкоторый грузъ тянущій веревку обматанную вкругъ колеса, — найдется, если величину ея помножимъ на путь, проходимый ею точкою приложенія. Грузъ F (фиг. 660) опускается на длину, равную величинѣ дуги CN , на какую колесо повертывается впродолженіе того времени, когда точка C замѣщаетъ собою точку N . Въ то же время точка с вала описываетъ дугу cm , и грузъ Q , поднятіе котораго есть цѣль машины, поднимается на длину этой дуги. Длина дугъ, соответствующихъ одному и тому же углу, пропорциональна величинѣ радиусовъ, которыми



Фиг. 659.



Фиг. 660.

эти дуги описаны; слѣдов. дуга CN во столько разъ будетъ больше дуги cm , во сколько радиусъ колеса R больше радиуса вала r .

во столько же разъ, следовательно, путь h , пройденный грузомъ F , будетъ болѣе пути h' пройденнаго грузомъ Q . Потому

$$h = h' \cdot \frac{R}{r}$$

Итакъ работа силы F будетъ

$$Fh = Fh' \cdot \frac{R}{r}$$

работа силы Q будетъ

$$Qh'$$

Но силы F и Q , если, какъ предполагаемъ, движеніе ворота равномерно, должны уравниваться взаимно при помощи ворота. Согласно закону рычага къ какому приводится теорія равновѣсія силъ на воротахъ, будемъ имѣть

$$Q = F \cdot \frac{R}{r}, \text{ слѣд. } Qh' = Fh' \cdot \frac{R}{r}$$

Сравнивая это выраженіе съ предыдущимъ выраженіемъ работъ Fh , видимъ, что

$$Fh = Qh'.$$

Другими словами *работа двигателя равна работѣ сопротивленія*. Такимъ образомъ, хотя при посредствѣ ворота, приведеннаго въ движеніе, можно помощью малаго груза поднять большой, но высота на которую опускается малый грузъ, не равна высотѣ на которую поднимается большой. Еслибы не было тренія и вообще вредныхъ сопротивленій и можно было бы пренебречь массою ворота, то путь, пройденный малымъ грузомъ, былъ бы ровно во столько разъ болѣе пройденнаго большимъ, во сколько въсѣ этого послѣдняго болѣе въсѣ перваго.

§ 450. *Общія замѣчанія о машинахъ*. Ворота во многихъ отношеніяхъ можно разсматривать какъ типъ машины и помощью его теоріи легко объяснить главное свойство машинъ вообще: преобразовать работу двигателя. Положимъ, что мы имѣемъ двигатель, способный произвести работу въ 12 килограмметровъ. Работу въ 12 килограмметровъ можно понимать различнымъ образомъ. Это можетъ обозначать 12 килограмметровъ, поднятыхъ на высоту 1 метра, или 4 кил., на высоту 3-хъ метровъ и т. д. Еслибы не было машины, то для

произведенія равномернаго движенія сила должна бы равняться сопротивленію. При посредствѣ машины сила можетъ быть не равна сопротивленію; равенство же работы достигается тѣмъ, что точки приложенія этихъ двухъ силъ проходятъ не одинаковый путь.

Положимъ, что въ нашемъ примѣрѣ радіусъ вала вдвое меньше радіуса колеса, и пусть грузъ Q равняется 100 килограммамъ. Тогда этотъ грузъ можно уравновѣсить грузомъ F , равнымъ только 50 килограммамъ, если Q помѣстить на валѣ, а F на колесѣ ворота. Грузъ F не только можетъ уравнивать грузъ Q , но и поднимать его, если только предположимъ, что тренія и другихъ сопротивленій не существуетъ. Дѣйствительно, въ такомъ случаѣ достаточно было бы разъ привести воротъ въ движеніе, чтобы онъ продолжалъ двигаться по инерціи; при чемъ грузъ F опускался бы, а грузъ Q поднимался бы. Когда грузъ F , опускаясь, проходитъ одинъ метръ, то его работа равна 50. $1 = 50$; въ это же время Q поднимается только на $\frac{1}{2}$ метра. Его работа 100. $\frac{1}{2} = 50$. Двѣ эти работы имѣютъ одинаковую величину, но представляются въ разной формѣ. Въслѣдствіе вредныхъ сопротивленій грузъ Q долженъ быть меньше, чѣмъ сколько показываетъ теорія, напр. 90 килорг., тогда полезная работа будетъ 90. $\frac{1}{2} = 45$. Слѣдов., при такомъ предположеніи пять килограмметровъ теряется на вредныя сопротивленія.

Итакъ машина преобразовываетъ работу, но не создаетъ ея; напротивъ, чрезъ введеніе машины не вся работа двигателя употребляется для произведенія полезнаго дѣйствія; часть ея непременно утрачивается. Наконецъ, ясно что машина безъ двигателя идти не можетъ, и слѣдов. всякая мысль о машинѣ которая, однажды будучи пущена въ ходъ, поддерживала бы сама свое движеніе безъ возобновляющагося дѣйствія двигателя (perpetuum mobile), есть неосуществимая химера.

Всякую машину, подобно разобранной нами, можно разсматривать или въ состояніи равновѣсія или въ состояніи движенія. Не должно думать, что достаточно изучить условія равновѣсія данной машины, чтобы рѣшить задачу о ея движеніи. Существованіе сопротивленій которыя появляются во время движенія, дѣлаетъ такое изученіе недостаточнымъ, и можно впасть въ значительную ошибку, если ограничиться разсмотрѣніемъ только условій равновѣсія данной машины.

Если работа двигателя равна работѣ полного сопротивленія, то, какъ мы видѣли, движеніе машины будетъ равномерно.

Если работа двигателя будетъ болѣе работы полного сопротивленія, тогда избытокъ дѣйствія обнаружится тѣмъ, что движеніе машины не будетъ равномерно: произойдетъ ускореніе всей находящейся въ движеніи массы, которая, въ разсматриваемомъ нами случаѣ ворота, состоитъ изъ двухъ грузовъ и изъ тѣла самого ворота. Еслибы, наоборотъ, работа двигателя была менѣе работы сопротивленія, то произошло бы замедленіе.

При этомъ ускореніе или замедленіе движущейся массы при тѣхъ же прочихъ условіяхъ будетъ происходить тѣмъ медленнѣе, чѣмъ значительнѣе эта масса.

До сихъ поръ мы допускали, что двигатель дѣйствуетъ постоянно и рассматривали его какъ постоянную силу. Перейдемъ къ случаю, когда дѣйствіе двигателя не постоянно.

Представимъ себѣ, что колесо ворота снабжено по окружности рядомъ рукоятокъ; работникъ, взявшись за рукоятку, тянетъ колесо внизъ, поддерживая его движеніе и возобновляя свое дѣйствіе чрезъ определенные промежутки времени. Пусть въ данный моментъ колесо движется съ опредѣленною скоростью и пусть въ этотъ моментъ работникъ перестаетъ дѣйствовать. Работа двигателя становится равною нулю; но движеніе еще не прекращается. Приведенная въ движеніе масса движется по закону инерціи и вѣчно продолжала бы свое движеніе, если бы не было работы сопротивленія. Но работа сопротивленія остается; потому движеніе замедляется, и если ускоряющее дѣйствіе не будетъ возобновлено, то чрезъ нѣсколько времени совсѣмъ прекратится. Скорость движенія по прекращеніи дѣйствія двигателя будетъ ослабѣть тѣмъ медленнѣе, чѣмъ значительнѣе масса, приведенная въ движеніе. Но прежде чѣмъ движеніе замедлится замѣтнымъ образомъ, работникъ возобновляетъ свое дѣйствіе. Движеніе машины ускоряется, и скорость, потерянная въ періодъ замедленнаго движенія, восстанавливается мало-по-малу. Чѣмъ масса значительнѣе, тѣмъ менѣе рѣзокъ будетъ переходъ отъ замедленія къ ускоренію движенія.

Изъ этого разсужденія видно, что, если мы дадимъ колесу ворота достаточную массу, то такое колесо будетъ умѣрять переходы отъ замедленія къ ускоренію, происходящіе отъ непостоянства двигателя, періодически возобновляющаго свое дѣйствіе. Чрезъ это, на сколько возможно, достигается равномерность движенія машины, а равномерное движеніе самое удобное для машины, ибо помощью его достигается однообразіе и правильность дѣйствія и избѣгаются вредные толчки.

Колесо, присоединяемое къ машинѣ съ цѣлью регулировать ея дѣйствіе, называется *маховымъ колесомъ* и составляетъ важную часть машинъ, въ которыхъ двигатель дѣйствуетъ непостоянно. Чѣмъ значительнѣе масса и діаметръ колеса, тѣмъ труднѣе ускорить или замедлить его движеніе.

§ 451. Какъ измѣряется энергія потенциальная и кинетическая. Ихъ взаимное отношеніе. Понятіями *работа* и *живая сила* пользуются для измѣренія энергіи тѣлъ. Значеніе энергіи и раздѣленіе ея на два вида *потенціальную* и *кинетическую* было уже указано въ § 216 стр. 294. Здѣсь прибавимъ, что потенциальная энергія тѣла измѣряется произведеніемъ дѣйствующей на него силы на путь, какой предстоитъ пройти, по ея направленію, ея точкѣ приложенія, то-есть величиною *работы*, какую способна произвести сила, если произведетъ

дѣйствіе (въ случаѣ, напримѣръ, груза P , находящагося на высотѣ H отъ земли это будетъ PH). Кинетическая энергія тѣла, то-есть теорія тѣла движущагося зависитъ, очевидно, отъ скорости тѣла и отъ его массы. За мѣру ея принимають половину живой силы тѣла, то-есть $\frac{mV^2}{2}$. Мѣра эта избрана на

томъ основаніи что ею объясняется эквивалентные преобразованія энергіи изъ одной формы въ другую (такъ какъ работа и живая сила связаны между собою). На слѣдующемъ простомъ примѣрѣ удобно простѣдить значеніе энергіи въ той и другой формѣ. Тѣло вѣсъ котораго есть P находится на высотѣ H отъ земли. Его потенциальная энергія, какъ сказано, есть PH . Когда тѣло упадетъ повинувшись тяжести, то въ моментъ достиженія земли его потенциальная энергія будетъ равна нулю, но оно будетъ обладать кинетическою энергіею $\frac{mV^2}{2}$. Но такъ какъ $M=mg$, $V=gt$ и $H=\frac{gt^2}{2}$, то (§ 448) имѣемъ:

$$PH = \frac{mV^2}{2}$$

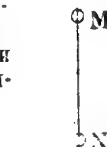
Вся потенциальная энергія преобразуется въ кинетическую.

При какой-нибудь точкѣ пути N , гдѣ $NA=h$ и слѣд. пройденный путь $MN=N-h$, уравненіе выражающее связь работы и живой силы будетъ

$$PH - h = \frac{mv^2}{2}$$

гдѣ v скорость въ точкѣ N . Отсюда

$$PH = Ph + \frac{mv^2}{2}$$



А
Фиг. 661.

Видимъ что въ точкѣ N тѣло имѣетъ еще потенциальную энергію Ph (такъ какъ тяжести предстоитъ еще работа на протяженіи h и кинетическую энергію $\frac{mv^2}{2}$. Сумма ихъ остается постоянной во всякой точкѣ пути. Въ этомъ *сохраніе* энергіи въ разсматриваемомъ случаѣ.

Когда тѣло ударяется о землю оно теряетъ приобретенную скорость, его кинетическая энергія становится равною нулю. Потенциальной энергіи оно также не имѣетъ ибо $H=0$. Энергія

слѣдов., по видимому, утратилась. Но утрата эта есть кажущаяся: кинетическая энергія тѣла только преобразовалась въ другія формы. Упавшее тѣло произвело звукъ, нагреваніе и другія дѣйствія.

§ 452. Приложение предыдущихъ разсужденій къ опредѣленію поправки въ опытъ Джоля надъ опредѣленіемъ механическаго эквивалента теплоты. Въ опытѣ Джоля (§ 215) двойной грузъ въ 26,3 килограмма, падая съ высоты 1600,5 миллиметровъ, достигаетъ земли со скоростью 60 миллиметровъ (если бы не было тренія эта скорость была бы около шести метровъ). Какъ велика работа потребленная треніемъ? Назвавъ высоту паденія буквою H , вѣсъ груза буквою P , работу силы тяжести выразимъ величиною PH . Эта работа, если бы падающее тѣло было свободное, равнялась бы половинѣ живой силы

$$\frac{mV^2}{2}, \text{ при чемъ } m = \frac{P}{g}.$$

Отсюда скорость V могла бы быть опредѣлена и равнялась бы приблизительно 6 метрамъ. На опытѣ она равнялась только 60 миллиметрамъ; половина приобретаемой живой силы была слѣд.

$$\frac{m\omega^2}{2}, \text{ гдѣ } \omega = 60 \text{ миллим.}$$

Почти вся работа потребляется треніемъ. Назвавъ работу потребляемому треніемъ и преобразующуюся въ теплоту буквою R , будемъ имѣть условіе

$$PH = R + \frac{m\omega^2}{2}$$

и слѣд. искомая работа R , потребляемая треніемъ и преобразующаяся въ теплоту есть

$$R = PH - \frac{m\omega^2}{2}.$$

Такъ какъ ω очень мало, то поправка $\frac{m\omega^2}{2}$ весьма незначительна. Ее можно выразить иначе, положивъ $\frac{m\omega^2}{2} = Ph$, гдѣ h высота, падая съ которой грузъ приобрѣлъ бы скорость ω . Вычисливъ величину h будемъ имѣть для опредѣленія R условіе

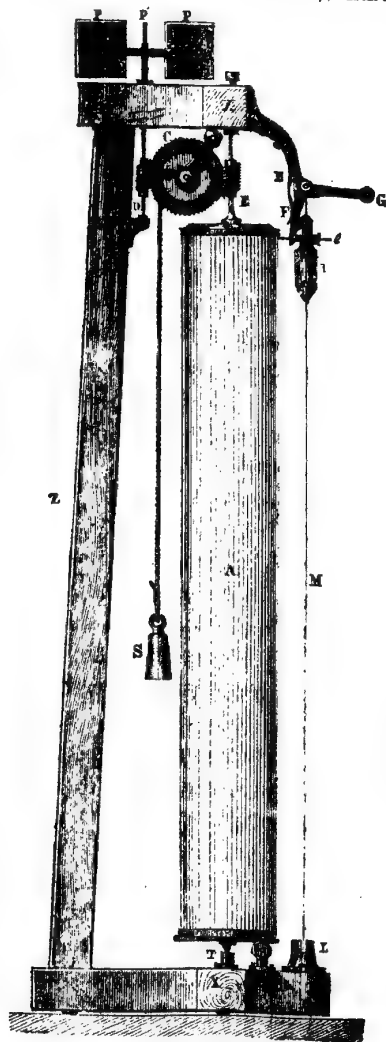
$$R = P(H - h).$$

II. Ученіе о силахъ дѣйствующихъ на болѣшихъ разстояніяхъ.

Паденіе тѣлъ.

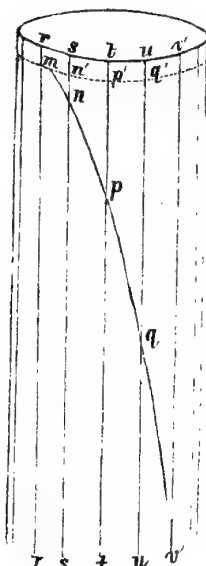
§ 453. Изученіе законовъ паденія тѣлъ помощью машины Морена. Мы уже изучали законы движенія падающихъ тѣлъ съ помощью наклонной плоскости и Атвудовой машины. Машина Морена позволяетъ изслѣдовать законы паденія тѣлъ по вертикальному направленію, не уменьшая скорости паденія. Снарядъ Морена состоитъ изъ деревяннаго цилиндра A (фиг. 662 на сл. стр.) около $1\frac{1}{2}$ метра высоты, которому сообщается равномерное движеніе на вертикальной оси. Для приведенія цилиндра въ движеніе служитъ гири, опускающаяся внизъ по своей тяжести и приводящая цилиндръ во вращеніе. Еслибы скорость движенія гири ничѣмъ не умѣрялась, то ея движеніе, а потому и движеніе цилиндра ускорялось бы болѣе и болѣе. Вѣтреница съ крыльями, вращаясь въ одно время съ цилиндромъ, умѣряетъ, вслѣдствіе сопротивленія воздуха, скорость паденія гири. Давъ крыльямъ P, P'' , приличныя размеры, можно достичь того, что движеніе гири и цилиндра сдѣлается скоро равномернымъ. Поверхность цилиндра покрыта бумагой. Тѣло I состоящее изъ небольшого желѣзнаго цилиндра помещается сверху снаряда и несетъ на себѣ мягкій карандашъ, или кисть съ краской, касающіеся бумаги цилиндра. Какъ скоро наблюдатель коснется ручки G , тѣло I начинаетъ падать. Чтобы во все время движенія карандашъ былъ слегка прижатъ къ бумагѣ и чертилъ линію, тѣло I падаетъ между двумя вертикальными прутьями (на чертежѣ виденъ одинъ пруть M), представляющими собою родъ вертикальныхъ рельсовъ нисколько не затрудняющихъ паде-

не. Пока тѣло I находится въ покое, карандашъ чертитъ кругъ $mn'p'q'$ (фиг. 663) по поверхности движущагося цилиндра, и такъ какъ движеніе этого послѣдняго равно-



Фиг. 662.

мѣрно, то равно отстоящія между собою ребра rr , ss , $tt...$ подходятъ къ карандашу чрезъ равные промежутки времени. Если въ то время какъ цилиндръ вращается на своей оси, тѣло I падаетъ внизъ, то ребра ss , $tt...$ будутъ встрѣчать карандашъ уже не въ точкахъ n' , p' ,



Фиг. 663.

q' ..., но въ точкахъ n , p , $q...$, и карандашъ будетъ чертить не кругъ, но кривую линію $mnpq$. Очевидно, линія $n'n$ будетъ изображать пространство, пройденное падающимъ тѣломъ въ то время, когда цилиндръ успѣлъ повернуться на дугу mn , такъ что ребро ss приняло положеніе какое занимало прежде ребро rr и подошло подъ вертикальную линію, какую проходитъ карандашъ. Линія $p'p$ есть пространство, пройденное падающимъ тѣломъ въ то время какъ цилиндръ повернулся на дугу mp' , которая, положимъ, вдвое больше чѣмъ дуга mn' и т. д. Другими словами равноотстоящія между собою вертикальныя линіи $n'n$, $p'p$, $q'q...$ изображаютъ пространства, пройденныя падающимъ тѣломъ въ одинъ, два, три и т. д. промежутка времени. Снявъ бумагу съ цилиндра и развернувъ ее въ плоскость, дѣйствительно чертимъ на ней рядъ вертикальныхъ линій, rr , ss , $tt...$ равноотстоящихъ между собою и притомъ такъ, чтобы одна изъ нихъ— rr проходила чрезъ начало кривой линіи $mnpq$, которую карандашъ начертилъ на бумагѣ. Легко убѣдиться, что кривая $mnpq$ есть парабола, ибо, измѣривъ длины $n'n$, $p'p$, найдемъ что pp' вчетверо, qq' вдевятиро разъ болѣе nn' и т. д.

А такъ какъ эти линіи выражаютъ пространства пройденныя въ одинъ, два, три и т. д. равныхъ промежутка времени, считая съ начала паденія, то заключаемъ, что *пройденныя пространства относятся между собою какъ квадраты временъ*. Извѣстный законъ *равнолѣтно-ускореннаго движенія*.

§ 454. Движеніе тѣла брошеннаго по вертикальному направленію. Сила дѣйствуетъ одинаково на тѣло, находящееся въ движеніи какъ и на тѣло, находящееся въ покое, и сообщаетъ тѣлу впродолженіе времени t приращеніе скорости gt . Это приращеніе прибавляется къ начальной скорости, если сила дѣйствуетъ по направленію движенія и должно отниматься отъ нея, если сила дѣйствуетъ по противоположному направленію. Последнее обстоятельство встрѣчается въ случаѣ тѣла, брошеннаго вверхъ по вертикальному направленію. Пусть a есть начальная ско-

рость тѣла. Скорость которую оно будетъ имѣть по прошествіи времени t , будетъ

$$v = a - gt,$$

гдѣ g есть ускореніе соответствующее свободному паденію. Но мы знаемъ, что въ случаѣ движенія, въ которомъ законъ скорости выражается этою формулою (движеніе *равномерно-замедленное*, § 433), законъ пространства выражается формулою:

$$e = at - \frac{gt^2}{2}.$$

Изъ первой формулы видимъ что скорость уменьшается съ теченіемъ времени и что при $t = \frac{a}{g}$ она равняется нулю. Мы найдемъ высоту до которой тѣло достигаетъ въ этотъ моментъ, поставивъ вмѣсто t его величину $\frac{a}{g}$ въ уравненіе пространства. Получимъ

$$e = a \cdot \frac{a}{g} - \frac{g \cdot a^2}{2g^2} = \frac{a^2}{2g}.$$

Въ моментъ, когда тѣло достигаетъ этой высоты, его скорость равняется нулю и, повиная дѣйствию тяжести, оно начинаетъ падать внизъ по обыкновеннымъ законамъ паденія тѣлъ, выражаемымъ формулами

$$v = gt \text{ и } e = \frac{gt^2}{2}.$$

Продѣлавъ снова высоту $\frac{a}{2g}$, тѣло достигнетъ земли въ точкѣ съ которой было брошено. Время, въ теченіи котораго совершается это обратное движеніе, найдемъ, поставивъ $\frac{a^2}{2g}$ вмѣсто e въ послѣднее уравненіе, выражающее пройденное пространство. Получимъ

$$\frac{a^2}{2g} = \frac{gt^2}{2}, \text{ откуда } t = \frac{a}{g}.$$

Приобрѣтенная въ концѣ паденія скорость будетъ:

$$v = g \cdot \frac{a}{g} = a.$$

Такимъ образомъ тѣло, чтобы возвратиться внизъ, употребитъ столько же времени, сколько употребило для того, чтобы подняться вверхъ, и придетъ назадъ съ тою же скоростью съ которою было брошено вверхъ.

Замѣтимъ, что при этомъ вычисленіи мы не обращаемъ вниманія на сопротивленіе воздуха.

Если тѣло брошено не по вертикальному направленію, то, какъ мы уже видѣли, оно описываетъ параболу.

§ 455. Маятникъ. Маятникъ главный инструментъ служащій для изученія дѣйствія тяжести на землѣ. Простѣйшая воображаемая форма маятника есть такъ называемый *простой маятникъ*, состоящій изъ нити не имѣющей вѣса, на концѣ которой находится одна матеріальная точка имѣющая вѣсъ. Такой идеальнѣй маятникъ называется математическимъ или простымъ въ отличіе отъ физическаго или сложнаго маятника, каковымъ можно назвать всякое тяжелое тѣло качающееся около горизонтальной оси, помѣщенной выше его центра тяжести.

Въ природѣ нѣтъ простаго маятника, но тяжелая сфера малыхъ размѣровъ повѣшенная на тонкой нити представляетъ случай близко подходящій къ теоретическому и мы сдѣлаемъ небольшую ошибку прилагая къ такому маятнику выводы изъ теоріи простаго маятника. О законахъ качанія такого тѣла уже было говорено въ §§ 37—40. Пополнимъ изложенныя тамъ свѣдѣнія.

Теорія простаго маятника приводитъ, въ случаѣ небольшихъ размаховъ, къ весьма важной формулѣ, изъ которой, какъ слѣдствія, вытекаютъ три упомянутыхъ закона качанія маятника. Эта формула выражаетъ время t одного качанія маятника, котораго длина есть l и имѣетъ видъ

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Время t выражается въ секундахъ; π есть отношеніе

окружности къ диаметру, равное, какъ известно, 3,14159...; g скорость, приобретаемая свободно падающимъ тѣломъ въ концѣ первой секунды. Длина l и скорость g должны быть выражены въ одинаковыхъ мѣрахъ. Такъ какъ въ формулу не входитъ величина размаха, то отсюда слѣдуетъ, что маятникъ большія и малыя дуги проходить въ одинаковое время. Подобнымъ образомъ время качанія не зависитъ отъ вѣса маятника, такъ какъ эта величина тоже не входитъ въ формулу.

Длина l входитъ въ формулу, и мы видимъ, что съ ея увеличеніемъ продолжительность одного качанія увеличивается, и что эта продолжительность прямо пропорціональна корню квадратному изъ длины маятника. Въмѣстѣ съ тѣмъ видимъ, что время одного качанія зависитъ отъ скорости паденія тѣла g , служащей мѣрою напряженія тяжести въ данномъ мѣстѣ земной поверхности. Продолжительность одного качанія уменьшается съ увеличеніемъ напряженія тяжести. Если бы напряженіе тяжести сдѣлалось больше, то маятникъ данной длины сталъ бы дѣлать большее число колебаній въ данное время.

Формула маятника имѣетъ особенно важное значеніе по тому что помощію ея можно съ точностію опредѣлить величину g , отъ которой зависитъ рѣшеніе всѣхъ задачъ о свободномъ паденіи тѣла. Дѣйствительно, если изъ опыта извѣстно время t , въ продолженіе котораго маятникъ данной длины l дѣлаетъ одно колебаніе, и самая длина l измѣрена съ точностію, то можно найти величину g , соответствующую мѣсту гдѣ производится наблюденіе, ибо изъ предыдущей формулы имѣемъ

$$g = \frac{\pi^2 \cdot l}{t^2}.$$

Время t можно измѣрить съ большою точностію. Для этого достаточно счесть, сколько качаній дѣлаетъ нашъ маятникъ въ продолженіе нѣкотораго болѣе или менѣе значительнаго времени. Такъ какъ, на основаніи перваго закона маятника, каждое качаніе продолжается одинаковое время, то достаточно раздѣлить время, въ продолженіе котораго производится счетъ качаній, на число качаній, чтобы получить точную продолжительность одного качанія. Пусть въ продолженіе времени T было N качаній, тогда время одного качанія будетъ $\frac{T}{N}$, и слѣдов.

$$g = \frac{\pi^2 \cdot l \cdot N^2}{T^2}.$$

Если бы на другомъ мѣстѣ земной поверхности мы замѣтили, что маятникъ той же длины l дѣлаетъ N' качаній, въ продолженіе того же времени T , то заключили бы, что на этомъ мѣстѣ величина напряженія тяжести иная, именно:

$$g' = \frac{\pi^2 \cdot l \cdot N'^2}{T^2} \text{ и слѣдов. } \frac{g}{g'} = \frac{N^2}{N'^2}.$$

Слѣд., напряженія тяжести въ различныхъ мѣстахъ относятся между собою, какъ квадраты числа качаній, которые маятникъ опредѣленной длины совершаетъ въ продолженіе одинаковаго времени.

Если мы положимъ $t = 1''$, то l будетъ представлять длину секунднаго маятника, которая опредѣлится изъ формулы:

$$l = \frac{g}{\pi^2}.$$

Такимъ образомъ, если g , какъ въ Парижѣ, равно 9,8088 метр., то $l = 993,9$ миллим.

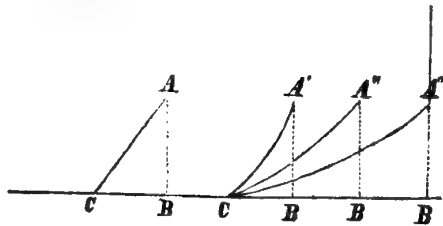
§ 456. Выводъ формулы маятника. Если бы извѣстна была скорость какую имѣетъ маятникъ въ нижней точкѣ своего пути, то легко было бы опредѣлить время его качанія, разсматривая его движеніе какъ гармоническое (§ 444). Искомую скорость можно найти на основаніи слѣдующихъ разсужденій.

Мы видѣли (§ 440), что тѣло, опускающееся внизъ по наклонной линіи приобретаетъ въ какой-нибудь точкѣ C этой линіи скорость равную той, какую, падалъ свободно, оно приобрѣло бы въ точкѣ B , лежащей въ одной горизонтальной плоскости съ разсматриваемою точкою C . Величина этой скорости выражается формулою:

$$v = \sqrt{2g \cdot AB}$$

Еслибы тѣло двигалось внизъ не по прямой наклонной линіи, но по какой-нибудь кривой линіи AC (сиг. 664), то можно доказать что и тогда скорость, приобретенная въ точкѣ C , равна скорости

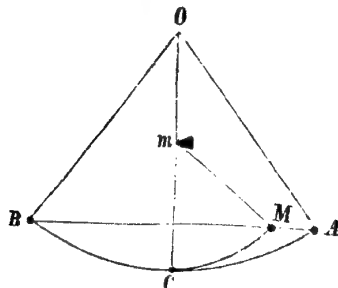
приобрѣтаемой падающимъ тѣломъ въ точкѣ B и выражается упомянутою формулой. Направлена она по касательной къ кри-



Фиг. 664.

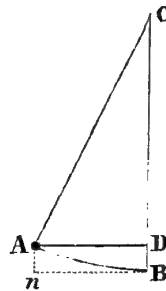
вой въ точкѣ C . Такимъ образомъ скорость приобретаемая тѣломъ въ точкѣ C одинакова, движется ли оно по прямой AC , или по кривымъ $A'C$, $A''C$, $A'''C$, если только точки A , A' , A'' , A''' лежатъ на одной горизонтальной плоскости. Если кривыя $A'C$, $A''C$, $A'''C$ имѣютъ въ точкѣ C общую касательную, то и направление скорости въ этой точкѣ будетъ одинаково для всѣхъ трехъ кривыхъ. Безъ сомнѣнія при этомъ время, въ продолженіе котораго тѣло достигаетъ точки C , не будетъ одинаково для различныхъ кривыхъ.

Этотъ законъ, котораго строгое доказательство дается въ механикѣ, можетъ быть оправданъ слѣдующимъ опытомъ. Если мы выведемъ маятникъ вправо до точки A (фиг. 665) и пустимъ его, то онъ опишетъ дугу AC , вслѣдствіе приобретаемой скорости перейдетъ точку C и под-



Фиг. 665.

нимется влѣво до точки B , лежащей приблизительно на одной высотѣ съ точкою A , до которой маятникъ былъ выведенъ вправо. Помѣстивъ гдѣ-нибудь вправо отъ нити неподвижное препятствіе m и выведемъ тѣло маятника до точки M , находящейся въ одной горизонтальной плоскости съ точками A и B



Фиг. 666.

Тогда движеніе вправо отъ вертикальной линіи будетъ происходить по дугѣ MC ; влѣво же это будетъ продолжаться по прежней дугѣ BC . Если предыдущій законъ вѣренъ, то въ точкѣ C маятникъ долженъ имѣть одинаковую скорость, двигался ли онъ по дугѣ AC или по дугѣ MC . Направление скорости также должно быть одинаково въ обоихъ случаяхъ, ибо дуги AC и MC въ точкѣ C имѣютъ общую касательную. Такимъ образомъ, маятникъ, проходя чрезъ вертикальное положеніе, въ обоихъ опытахъ находится въ совершенно одинаковыхъ условіяхъ и долженъ влѣво подниматься до одинаковой высоты B . Это дѣйствительно оправдывается опытомъ. Гдѣ бы мы ни помѣстили препятствіе, маятникъ влѣво поднимается до одинаковой высоты, если только вправо былъ введенъ до высоты линіи AB .

Пользуясь оправданнымъ такимъ образомъ закономъ, заключаемъ что скорость v какую имѣетъ маятникъ (фиг. 666) въ точкѣ B выразится формулой:

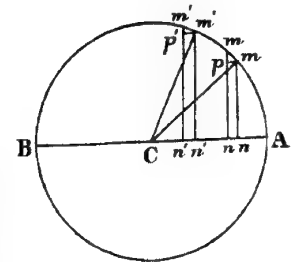
$$v = \sqrt{2g \cdot An} = \sqrt{2g \cdot DB}.$$

Если отклоненіе маятника отъ вертикальнаго положенія незначительно, то дугу AB можно принять равною хордѣ $AB=a$. Но, по свойству хорды, $AB^2 = 2CB \cdot DB$ или $a^2 = 2l \cdot DB$, $DB = \frac{a^2}{2l}$.

Слѣдов.

$$v = a \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Найденная такимъ образомъ скорость есть скорость равномернаго движенія, знаніе котораго потребно для разрѣшенія вопроса о времени качанія маятника, если разсматривать его движеніе какъ движеніе гармоническое. Назвавъ время одного размаха отъ A до B (фиг. 667) буквою t , величину t опредѣлимъ изъ того условія что въ продолженіе этого времени тѣло движущееся равномерно проходить полукруга, діаметромъ которому служить длина размаха AB . Имѣемъ



Фиг. 667.

изъ того условія что въ продолженіе этого времени тѣло движущееся равномерно проходить полукруга, діаметромъ которому служить длина размаха AB . Имѣемъ

$$\pi \cdot a = a \sqrt{\frac{g}{l}} \cdot t.$$

$$\text{откуда } t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

§ 457. Некоторые результаты наблюдений надъ маятникомъ. Точныя наблюденія надъ маятникомъ показываютъ что длина секунднаго маятника и вмѣстѣ съ нею напряженіе тяжести g имѣютъ неодинаковую величину на разныхъ точкахъ земной поверхности.

Изъ общаго свода многочисленныхъ наблюденій надъ маятникомъ выходитъ:

Длина секунд- Скорость паде- Въсѣ на раз-
на маятника при- нія тѣлъ (вели- личныхъ мѣ-
веденная къ пу- чина g). стахъ, при-
стотъ и уровню чина g). нимаая въсѣ
моря. въ Парижѣ
за единицу.

при полюсѣ . . .	996,189	9,8314	1,0023
въ Парижѣ . . .	993,900	9,8088	1,0000
подъ широтою 45°	993,520	9,8049	0,9996
на экваторѣ . . .	991,027	9,7803	0,9971

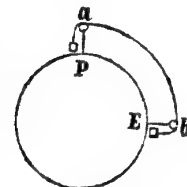
Въ Парижѣ длина секунднаго маятника равняется 993,9 миллиметрамъ. Полагая $t=1$, $l=993,9$ въ фор-

мулѣ маятника $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, гдѣ $\pi = 3,14159$, най-

демъ, что величина g въ Парижѣ равняется 9,809 метровъ. Слѣдов., въ Парижѣ ($48^\circ 50'$ сѣв. шир.) падающее тѣло въ первую секунду паденія проходитъ 4,9045 метровъ. Въ Петербургѣ длина секунднаго маятника равняется 39,17 дюймамъ или 994, 91 миллиметрамъ. Слѣд., въ Петербургѣ g равняется 32,2 фута или 9,814 метра. Падающее тѣло въ первую секунду проходитъ въ Петербургѣ 16,1 фута или 4,907 метра.

Такъ какъ величина g подъ экваторомъ менѣе чѣмъ въ полярныхъ странахъ, и тѣло подъ экваторомъ падаетъ медленнѣе, то заключаемъ что и въсѣ тѣла $P = mg$ подъ экваторомъ менѣе чѣмъ у полюсовъ. Безъ помощи маятника было бы трудно обнаружить это уменьшеніе въса. Для этой цѣли нельзя пользоваться въсами, ибо въсѣ разновѣсковъ уменьшается на столько же, на сколько въсѣ взвѣшиваемаго тѣла. Еслибы могли существо-

вать въсѣ которыхъ одна чашка находилась бы подъ экваторомъ, а другая подъ полюсами, или еслибы было можно привѣсить грузы къ концамъ нити перекинутой чрезъ два блока (фиг. 668), изъ которыхъ одинъ у полюса, другой подъ экваторомъ, то грузъ помѣщенный при полюсѣ перетянулъ бы грузъ равной массы, помѣщенный при экваторѣ.



Уменьшеніе напряженія тяжести подъ экваторомъ происходитъ отъ двухъ причинъ:

1) Отъ центробѣжной силы. Земля Фиг. 668. обращается около оси. Точки экватора, описывающія въ сутки большой кругъ, движутся быстрѣе чѣмъ точки находящіяся ближе къ полюсамъ и описывающія малые круги. Потому центробѣжная сила подъ экваторомъ значительнѣе, чѣмъ на точкахъ, лежащихъ ближе къ полюсамъ (на самыхъ полюсахъ центробѣжная сила равна нулю). Вмѣстѣ съ тѣмъ подъ экваторомъ направленіе ея прямо противоположно направленію тяжести. Такимъ образомъ въ то время, какъ въсѣ тянетъ тѣло внизъ, центробѣжная сила стремится удалить его вверхъ, и слѣдовательно тѣло падаетъ, повинувъсь разности этихъ двухъ силъ.

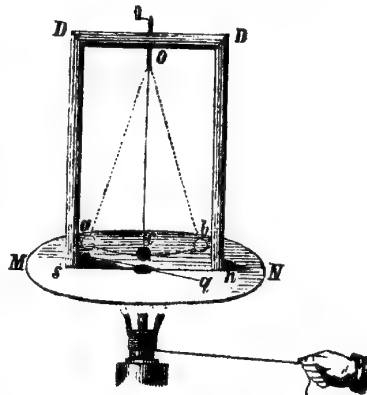
2) Отъ фигуры земли. Тѣла падаютъ на землю отъ того что притягиваются частицами земли. Земля имѣетъ фигуру эллипсоида. Теорія показываетъ, что на эллипсоидѣ притяженіе при полюсахъ значительнѣе, чѣмъ при экваторѣ.

§ 458. Незмѣнимость плоскости качанія маятника. Опытъ Фуко. Повѣсимъ надъ плоскостью MN (фиг. 669) небольшой маятникъ. Нить вверху прикрѣпимъ къ головкѣ O . Эту головку можно крутить свободно и чрезъ это закручивать самую нить. Выведемъ маятникъ изъ положенія равновѣсія и пустимъ его качаться по какому-нибудь опредѣленному направленію, напримѣръ по am . Во время движенія станемъ крутить головку. Нить будетъ скручиваться; шарикъ будетъ обращаться около направленія нити, какъ около оси; но это не будетъ имѣть никакого вліянія на положеніе плоскости въ которой качает-

ся маятник; онъ будетъ качаться по тому направленію, по какому мы его пустили. Если вѣсто того, чтобы крутить отдѣльно головку O , мы заставимъ всю плоскость MN обращаться около вертикальной оси, то точка привѣса нити будетъ обращаться точно также, какъ въ томъ случаѣ, когда мы ее крутили отдѣльно. И въ этомъ случаѣ крученіе точки привѣса не будетъ имѣть вліянія на плоскость качанія, и маятникъ будетъ продолжать качаться по первоначальному направленію sn . Но такъ какъ плоскость MN вращается подъ маятникомъ, то подѣ направленіе его качанія будутъ подходить различныя точки такъ, что во время полнаго обращенія, всѣ линіи, которыя можно провести изъ середины плоскости MN , какъ изъ центра, послѣдовательно подойдутъ подѣ направленіе качанія маятника. Такимъ образомъ, *относительно* плоскости MN , маятникъ, первоначально качавшійся по линіи sn , потомъ будетъ качаться по линіи pq , чрезъ нѣсколько времени качанія будутъ происходить перпендикулярно къ sn , и т. д.

Вообразимъ, что плоскость MN есть подѣ комнаты находящійся на сѣверномъ, напримѣръ, полюсѣ, и пусть точка привѣса o находится на продолженіи земной оси. Тогда маятникъ будетъ находиться совершенно въ такихъ условіяхъ, какъ въ послѣднемъ опытѣ, ибо поверхность земли подѣ полюсами вращается около земной оси совершенно такимъ же образомъ, какъ плоскость MN вращается около вертикальной оси. Линіи sn , pq и другія будутъ представлять собою различныя меридіаны, сходящіяся въ полюсѣ. Во время обращенія земли различныя точки пола будутъ подходить подѣ направленіе качающагося маятника. Наблюдатель, не замѣчая движенія пола, припишетъ измѣненіе въ направленіи качанія перемѣщенію плоскости качанія, и ему будетъ казаться, что маятникъ качается послѣдовательно въ различныхъ направленіяхъ. Пущенный первоначально по sn , мало-по-малу, онъ отклонится отъ этого направленія, чрезъ шесть часовъ будетъ качаться по направленію перпендикулярному къ sn , и т. д. Такъ какъ земля обращается отъ запада къ востоку, то наблюдателю будетъ казаться, что плоскость качанія маятника отступаетъ отъ востока къ западу и въ теченіи сутокъ дѣлаетъ полный оборотъ.

Не возможно сдѣлать такой опытъ подѣ самымъ полюсомъ, но и въ среднихъ широтахъ можно замѣтить отступленіе плос-



Фиг. 669.

кости качанія отъ востока къ западу, т.-е. по направленію стрѣлки часовъ, если держать ихъ горизонтально, диффербаломъ вверхъ. Только въ среднихъ широтахъ плоскость качанія въ теченіи сутокъ проходитъ не 360° , но менѣе.

Отступленіе плоскости качанія маятника, служащее нагляднымъ доказательствомъ движенія земли около оси было открыто въ 1850 г. французскимъ ученымъ Фуко.

Подѣ экваторомъ описываемаго явленія не бываетъ, и плоскость качанія сохраняетъ свое направленіе неопредѣленное время; подѣ широтою 30° плоскость маятника описываетъ въ сутки 180° .

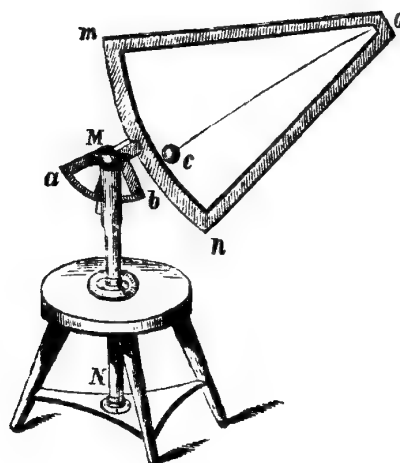
Вообще должно помножить 360° на синусъ широты мѣста, чтобы получить число градусовъ, на какое въ сутки отступаетъ плоскость качанія маятника подѣ этою широтою (законъ Фуко).

Теоретическое объясненіе отступленія плоскости качанія маятника требуетъ довольно сложныхъ соображеній. Мы ограничимся описаніемъ нашего снаряда, помощью котораго можно наглядно ознакомиться съ началами, на какихъ основано объясненіе опыта Фуко, такъ какъ онъ наблюдается подѣ различными широтами.

Еслибы мы взяли глобусъ и помѣстили на немъ маленький маятникъ, то могли бы въ маломъ видѣ сдѣлать опытъ Фуко только для случая полюса. Во всякомъ другомъ положеніи нашъ маленький маятникъ принялъ бы приличное ему вертикальное направленіе, а не направился бы къ центру глобуса. Потому мы должны отказаться отъ силы тяжести для произведенія опыта Фуко на модели, въ маломъ видѣ. Мы должны воспользоваться какою-либо инерціею, которая дѣйствовала бы на тѣло подобно тому какъ тяжесть дѣйствуетъ на маятникъ. Упругость прута, укрѣпленнаго въ верхней его точкѣ и имѣющаго на концѣ шарикъ, можетъ представить силу такого рода. Такой тонкій прутъ приличной длины и упругости представляетъ близкое подобіе маятника: выведенный изъ своего положенія равновѣсія, онъ стремится возвратиться въ прежнее положеніе и совершаетъ рядъ качаній, остающихся приблизительно въ одной плоскости. Крученіе точки привѣса какъ и въ случаѣ маятника не имѣетъ вліянія на направленіе плоскости качанія прута, остающейся неизмѣнной.

Снарядъ (фиг. 670) состоитъ изъ столика на трехъ ножкахъ, чрезъ который проходитъ ось, несущая рамку съ вдѣланнымъ въ нее стальнымъ упругимъ прутомъ, имѣющимъ на концѣ шарикъ и представляющимъ родъ маятника; ось свободно проходитъ чрезъ столикъ, упираясь нижнимъ концомъ своимъ въ углубленіе перекладины, соединяющей ножки столика. Ось легко можетъ быть приведена во вращеніе съ находящеюся на ней рамкою. Эта рамка можетъ принимать различныя положенія относительно оси. Винтъ, находящійся въ томъ мѣстѣ, гдѣ рамка сочленена съ осью, позволяетъ укрѣпить рамку въ желаемомъ

положеніи. Ось снаряда представляет ось земли; мѣсто, гдѣ рамка сочленена съ осью, соответствуетъ земному центру. Ког-



Фиг. 670.

да рамка находится въ прямомъ положеніи, мы какъ бы на полюсѣ. Выводимъ шарикъ изъ положенія равновѣсія и осторожно выпускаемъ его изъ рукъ. Вслѣдствіе упругости прута, онъ будетъ совершать рядъ качаній по опредѣленному направленію; напрямѣръ, по направленію нижней перекладки рамки. Приведемъ рамку во вращеніе, увидимъ, что направленіе качаній нашего маятника будетъ дѣлать уголъ съ нижнею перекладкой, ибо вращеніе рамки не имѣетъ вліянія на положеніе плоскости качанія.

Наклоняемъ рамку на 90° . Мы какъ бы подъ экваторомъ. Легко убѣдиться, что тогда нѣтъ явленія, такъ рѣзко обнаруживающагося подъ полюсомъ. Маятникъ, выведенный изъ положенія равновѣсія, по направленію нижней перекладки, или въ другомъ какомъ направленіи (напримѣръ перпендикулярно къ нижней перекладкѣ) продолжаетъ качаться по тому же направленію и во время обращенія рамки около оси.

Помѣщая рамку въ одномъ изъ среднихъ положеній, (какъ на фиг. 670) мы какъ бы подъ среднею широтой. Положеніе, при которомъ направленіе прута дѣлаетъ съ осью уголъ 60° , особенно замѣчательно. Въ такомъ случаѣ мы какъ бы подъ широтой 30° . Синусъ тридцати градусовъ равняется половинѣ; слѣдовательно, по теоріи, подъ широтой 30° плоскость маятника

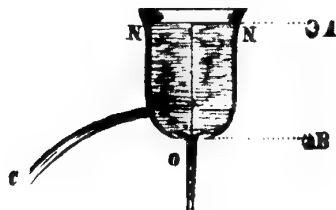
должна, въ то время какъ земля совершаетъ полный оборотъ (360°), отступить на 180° отъ своего первоначальнаго направленія, и на 90° въ то время, какъ земля совершитъ половину оборота (180°). Такое явленіе обнаруживается и на снарядѣ. Помѣстивъ рамку въ упомянутомъ положеніи, замѣтимъ, что въ то время, какъ рамка совершила половину полнаго оборота, направленіе качаній маятника, пущеннаго первоначально, напрямѣръ, по нижней перекладкѣ, сдѣлалось къ ней перпендикулярнымъ, слѣд. плоскость маятника перемѣстилась на 90° . Это оправдываетъ законъ Фуко. Весь шарикъ и прута, при экваторіальномъ и вообще наклонныхъ положеніяхъ рамки, дѣйствуетъ какъ возмущающая причина. Прута немного сгибается, и шарикъ (какъ видно на фиг. 670) не приходится прямо противъ середины нижней перекладки рамки.

§ 458. Законы истеченія жидкостей. Къ тому что сообщено уже о дѣйствіи тяжести на жидкія тѣла въ первомъ отдѣлѣ курса, прибавимъ нѣсколько свѣдѣній объ истеченіи жидкости вслѣдствіе давленія верхнихъ ея слоевъ на нижніе. Если открыть отверстіе небольшой величины, сдѣланое на днѣ или въ стѣнкѣ сосуда наполненнаго жидкостью, то увидимъ, что жидкость будетъ вытекать съ опредѣленною скоростью. Масса вытекающей жидкости представляетъ близкое сходство съ тѣломъ брошеннымъ по опредѣленному направленію. Давленіе, которое частицы жидкости, находящіяся при отверстіи, испытываютъ со стороны остальной массы жидкости, соответствуетъ силѣ верженія; направленіе давленія представляетъ направленіе по которому эта сила даетъ тѣлу начальную скорость.

Существованіе начальной скорости легко замѣтить въ случаѣ истеченія жидкости чрезъ боковое отверстіе. Вытекающая струя (фиг. 671) образуетъ кривую линію подобную той, которую описало бы тѣло, брошенное при отверстіи А съ опредѣленною скоростью по направленію каковѣ имѣтъ давленіе жидкости въ этомъ мѣстѣ.

Въ случаѣ если давленіе при отверстіи направлено

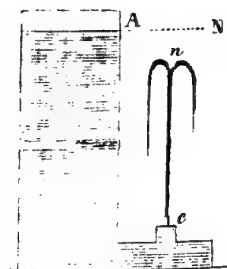
снизу вверх (фиг. 672), жидкость, повинаясь этому давлению, бьетъ вверхъ вертикальною струей, образуя фонтанъ.



Фиг. 671.

Основываясь на опытѣ съ струей бьющею вверхъ Торричелли опредѣлилъ величину скорости истечения жидкости, руководствуясь слѣдующими соображеніями.

Высота, до которой достигаетъ вертикальная струя, ниже продолженнаго уровня жидкости AN . Легко видѣть причины, которыя не позволяютъ ей достигъ высоты AN . Главнѣйшая изъ этихъ причинъ есть давленіе частицъ жидкости, возвращающихся внизъ, на тѣ, которыя еще поднимаются къверху, давленіе треніе о стѣнки отверстія, сопротивленіе воздуха. Можно допустить, что еслибы этихъ причинъ не было, то жидкость поднялась бы до самой высоты AN . Дѣйствительно, въ первый моментъ истечения, когда первая причина еще не дѣйствуетъ, высота струи почти достигаетъ уровня AN . Можно также избѣгнуть вліянія возвращающихся частицъ, заставивъ струю бить въ нѣсколько наклонномъ направленіи. Въ такомъ случаѣ она также почти достигаетъ уровня AN . Но жидкость поднимается вверхъ вслѣдствіе той скорости, которую она получаетъ при выходѣ изъ отверстія, и можетъ быть сравнена съ брошеннымъ вверхъ тѣломъ. Заключаемъ, что скорость получаемая жидкостью при выходѣ изъ отверстія, имѣ-



Фиг. 672.

етъ такую величину, что, елибы не было препятствій, она заставила бы выходящую жидкость подняться до высоты N . Но извѣстно, что брошенное вверхъ тѣло возвращаясь назадъ, въ концѣ паденія приобретаетъ ту самую скорость, съ какою было первоначально пущено, и если мы знаемъ высоту, до какой тѣло достигаетъ, то легко можемъ опредѣлить эту скорость. По законамъ паденія, скорость тѣла упавшаго съ высоты h , выражается формулою

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Сравнивая вытекающую жидкость съ брошеннымъ тѣломъ, можемъ сказать, что этою самою формулою выражается скорость, какую имѣетъ жидкость въ разсматриваемомъ случаѣ при выходѣ изъ отверстія c . Величина h выражаетъ вертикальное разстояніе отверстія отъ уровня жидкости въ сосудѣ и есть не что иное, какъ высота столба жидкости, которымъ выражается гидростатическое давленіе при отверстіи.

Эту теорему можно распространить на всѣ случаи истечения и допустить вообще, что скорость, съ какою жидкость вытекаетъ чрезъ отверстіе сосуда, равняется скорости, какую приобретаетъ свободно падающее тѣло, пройдя путь равный высотѣ столба жидкости, представляющаго гидростатическое давленіе при отверстіи, или, другими словами, равный разстоянію отверстія отъ уровня жидкости въ сосудѣ. Потому слой жидкости, выходящій изъ отверстія (фиг. 671) въ тотъ моментъ, когда тѣло помещенное въ точкѣ B начинаетъ свое паденіе, обогнать это тѣло, ибо слой жидкости имѣетъ начальную скорость, выражающуюся предыдущею формулою, тѣло же начинаетъ движеніе со скоростью равною нулю. Но еслибы тѣло начало падать съ точки A , то слой, который проходитъ чрезъ отверстіе O въ тотъ мо-

ментъ, когда тѣло достигаетъ положенія *B*, имѣетъ ту самую скорость, какъ это тѣло.

Изъ теоремы Торричелли слѣдуетъ: 1) *скорость истечения не зависитъ отъ плотности жидкости*: ртуть, вода, спиртъ и т. д. вытекаютъ съ одинаковою скоростью, если высота ихъ уровня надъ отверстиемъ одинакова; 2) *скорости истечения относятся между собою, какъ квадратные корни изъ высотъ уровня надъ отверстиемъ*. Такимъ образомъ скорость, съ какою жидкость вытекаетъ изъ отверстия, лежащаго на 4 дециметра ниже уровня, вдвое болѣе скорости, съ какою жидкость вытекаетъ изъ отверстия, лежащаго на 1 дециметръ ниже уровня.

Чтобы показать справедливость предыдущихъ разсуждений и оправдать теорему Торричелли, должно прибѣгнуть къ точнымъ опытамъ.

Такие опыты удобно можно произвести надъ струей, вытекающею чрезъ боковую стѣнку. Въ случаѣ струи, текущей внизъ изъ отверстия сдѣланнаго въ днѣ сосуда, направленіе начальной скорости совпадаетъ съ направленіемъ скорости. Приобрѣтаемой вѣдствие паденія, и ихъ труднѣе раздѣлить между собою, чѣмъ въ случаѣ боковаго истечения, гдѣ начальная скорость и дѣйствіе тяжести направлены различными образомъ.

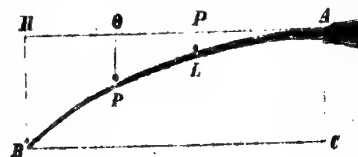
Для того чтобы наблюденіе струи можно было сдѣлать съ достаточною точностію, необходимо, чтобы она не измѣнялась въ продолженіе опыта. Другими словами, скорость истечения должна быть постоянною. Но по мѣрѣ вытеканія жидкости изъ сосуда, ея уровень понижается, и слѣд. скорость уменьшается болѣе и болѣе. Для того чтобы скорость истечения не измѣнялась, необходимо во все время опыта приливать жидкости въ сосудъ, такъ чтобы уровень оставался на одинакой высотѣ.

Если отверстие чрезъ которое вытекаетъ жидкость сдѣлано въ тонкой вертикальной стѣнкѣ или если жидкость вытекаетъ чрезъ горизонтальный каналъ, то начальная скорость имѣетъ горизонтальное направленіе. Зная высоту *h* уровня надъ отверстиемъ, изъ формулы $v = \sqrt{2gh}$, гдѣ $g = 9,8$ метровъ, найдемъ какъ велика должна быть скорость истечения, если теорема Торричелли справедлива. Пожмижъ, напримѣръ, что

высота уровня *h* равняется одному дециметру или 0,1 метра. Тогда

$$v = \sqrt{2 \times 9,8 \times 0,1} = 1,4 \text{ метра.}$$

Еслибы частица жидкости, оставляя сосудъ, не была подвержена дѣйствию тяжести, то, повиная приобретенной скорости, она двигалась бы равномерно по линіи *АН* и, напримѣръ, чрезъ $\frac{1}{10}$ секунды была бы въ некоторой точкѣ *P*, на разстояніи $AP = 1,4 \times \frac{1}{10} = 0,14$ метра или 14 центиметровъ отъ начала движенія; чрезъ $\frac{2}{10}$ секунды она была бы на разстояніи $14 \times 2 = 28$ центиметровъ отъ начала и т. д.



Фиг. 673.

Но такъ какъ какъ на частицу дѣйствуетъ тяжесть, то чрезъ $\frac{1}{10}$ секунды она будетъ не въ *P*, но въ *L*, гдѣ *PL* есть пространство, какое эта частица прошла бы въ $\frac{1}{10}$, еслибы падала внизъ безъ начальной скорости, но свободно падающее тѣло въ $\frac{1}{10}$ секунды проходитъ пространство $\frac{g}{2} \cdot \left(\frac{1}{10}\right)^2 = 0,049$

метр. или 49 миллиметровъ. Измѣривъ величину вертикальнаго разстоянія *PL* можемъ сравнить теоретически полученную величину этой линіи съ тою, какою опредѣляется изъ опыта. Подобнымъ образомъ можно измѣрить линіи *OP*, *HB* и вообще линію дѣлаго ряда вертикальныхъ линій (ординатъ кривой линіи *ALPB*, соответствующихъ различнымъ точкамъ линіи *АН*, и сравнить ихъ дѣйствительную величину съ тою, которая вычислена на основаніи теоремы Торричелли. Эти измѣренія удобно можно сдѣлать, помѣстивъ по направленію *АН* горизонтальную перекладину и привѣсивъ на различныхъ ея точкахъ на нитяхъ небольшіе грузы (отѣсы) до самой струи.

Можно также начертить на доскѣ параболу, какую описываетъ тѣло, брошенное горизонтально со скоростью, вычисленною по теоремѣ Торричелли, и поставивъ доску сзади струи,

сравнить путь струи съ направлением начертанной такимъ образомъ кривой линіи.

Подобнаго рода опыты даютъ результаты согласные съ теоріею Торричелли.

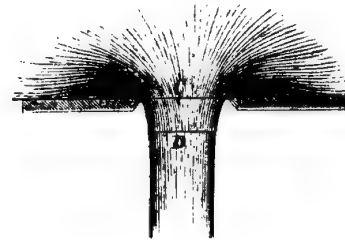
Въ случаѣ истеченія чрезъ дно разсмотрѣнный нами способъ повѣрки закона Торричелли не приложимъ. Но такъ какъ количество жидкости, вытекающей въ продолженіе даннаго времени, зависитъ отъ скорости истеченія, то для изслѣдованія законовъ истеченія можно обратиться къ опредѣленію того сколько жидкости вытекаетъ въ данное время. Когда жидкость вытекаетъ изъ отверстія съ постоянною скоростью, то понятно, что количество жидкости прошедшей чрезъ отверстіе въ секунду, представляетъ собою цилиндръ, котораго основаніе есть отверстіе сосуда, а высота скорость истеченія въ секунду. Объемъ вытекшей жидкости можно сравнить съ объемомъ проволоки, которой сѣченіе равно величинѣ отверстія и которую вытягиваютъ чрезъ это отверстіе со скоростью равною скорости истеченія жидкости. Зная объемъ жидкости вытекающей въ одну секунду, можемъ опредѣлить какой объемъ вытечетъ въ 2", 3", вообще во время t . Помноживъ объемъ на плотность, получимъ вѣсъ вытекшей жидкости. Такимъ образомъ если площадь отверстія есть ω , то объемъ жидкости, вытекающей въ продолженіи времени t , будетъ ωvt , гдѣ v опредѣляется изъ формулы: $v = \sqrt{2gh}$. Вѣсъ же этой жидкости выразится формулою: $\omega v t d$, гдѣ d плотность жидкости. Съ другой стороны, собирая вытекшую жидкость, мы можемъ опредѣлить ея вѣсъ прямымъ взвѣшиваніемъ. Если этотъ вѣсъ одинаковъ съ полученнымъ теоретически, то это будетъ служить доказательствомъ справедливости теоретическихъ соображеній на которыхъ основано вычисленіе вѣса. Оказывается, что количество дѣйствительно вытекшей жидкости или, какъ это говорится, дѣйствительный расходъ жидкости значительно меньше того какой даетъ теорія. Этотъ способъ повѣрки можно приложить и къ случаю истеченія чрезъ боковую стѣнку. Вообще дѣйствительный расходъ жидкости, въ случаѣ истеченія чрезъ отверстіе въ тонкой стѣнкѣ, составляетъ только 0,6 теоретическаго.

Какъ объяснить это разногласіе двухъ способовъ повѣрки закона Торричелли? Замѣтимъ, что на количество вытекающей жидкости имѣетъ вліяніе самый видъ отверстія чрезъ которое происходитъ истеченіе. Расходъ 0,6 теоретическаго относится къ случаю истеченія чрезъ отверстіе сдѣланное въ тонкой стѣнкѣ. Въ случаѣ толстой стѣнки, давъ каналу чрезъ который происходитъ истеченіе, приличную форму (въ родѣ изображенной на фиг. 674), можно значительно увеличить расходъ жидкости и довести его до 0,9 теоретическаго. Трубки приставляемыя къ отверстію имѣютъ такое же значеніе, какъ каналъ

въ толстой стѣнкѣ и также увеличиваютъ количество вытекающей жидкости.



Фиг. 674.



Фиг. 675.

Внимательно наблюдая видъ вытекающей струи, можно открыть причину, вслѣдствіе которой дѣйствительный расходъ жидкости меньше теоретическаго и въ различныхъ случаяхъ бываетъ различенъ. По выходѣ изъ круглаго отверстія, сдѣланнаго въ тонкой стѣнкѣ дна, струя (Фиг. 675) на протяженіи равномъ приблизительно половинѣ діаметра отверстія, весьма замѣтно суживается и далѣе идетъ въ формѣ почти цилиндрическаго столба, весьма медленно продолжая суживаться до того мѣста гдѣ струя начинаетъ мутиться.

Видѣть съ тѣмъ, если стѣнки сосуда прозрачны и вода мутна (что можно сдѣлать чрезъ прибавку, напримѣръ, мелко истолченнаго кирпича), легко замѣтить, что вытекающая жидкость образуетъ множество тонкихъ струй, стремящихся къ отверстію. Отъ ихъ-то столкновенія и зависитъ сжатіе струи.

Разсматривая струю, текущую вертикально сверху внизъ, можно замѣтить, что она состоитъ изъ двухъ рѣзко различающихся между собою частей. Верхняя—свѣтлая, прозрачная, кажущаяся неподвижною въ родѣ стеклянной палочки; ея діаметръ вначалѣ, какъ уже было сказано, быстро уменьшается, но начиная съ нѣкотораго весьма малаго разстоянія отъ отверстія, это уменьшеніе діаметра идетъ очень медленно, такъ что отъ сжатаго мѣста до конца прозрачной части струю можно считать почти цилиндрическою.

Вторая часть толще и имѣетъ мутный, беспокойный видъ. При достаточномъ освѣщеніи можно замѣтить на протяженіи этой части струи послѣдовательныя утолщенія и сжатія или

узлы (фиг. 676); внутри ея кажется как бы нѣкоторый тонкій каналъ. Въ случаѣ водяной струи эти части удобно наблюдать подкрасивъ воду. Длина и діаметръ утолщеній тѣмъ значительнѣе чѣмъ больше давленіе подъ какимъ происходитъ истеченіе, и чѣмъ больше діаметръ отверстія. Такъ, наприимѣръ, при давленіи 12 центиметровъ и отверстіи въ 6 миллим. въ діаметрѣ, длина прозрачной части составляетъ около 60 центиметровъ; длина всякаго утолщенія около 30 центим., діаметръ утолщенія 1 цент. и длина узла отъ 7 до 8 миллиметровъ.

Мутная часть струи намъ кажется непрерывною только вслѣдствіе оптическаго обмана, объясняющагося свойствомъ нашего глаза сохранять нѣкоторое время произведенное на него впечатлѣніе. Струя состоитъ изъ отдѣльныхъ капель, быстро слѣдующихъ одна за другою. Чтобы убѣдиться въ этомъ, достаточно пересѣчь струю листомъ картона, быстро проведя его въ горизонтальномъ направленіи. Вмѣсто непрерывнаго слѣда, струя оставляетъ на картонѣ отдѣльныя пятна, показывающія тѣ мѣста, гдѣ картонъ встрѣчалъ капли, составляющія струю. Еслибы мы пересѣкли картономъ свѣтлую часть струи, то она оставила бы непрерывный слѣдъ.

Въ случаѣ ртутной струи, ея мутная часть не мѣшаетъ видѣть мелкіе предметы за нею находящіеся, что было бы невозможно, еслибы она состояла изъ непрерывной массы жидкости.

Если, устремивъ взглядъ на какую-нибудь точку верхней части струи, мы быстро опустимъ глаза, слѣдя за движеніемъ точки, которую разсматриваемъ, то вмѣсто мутной части увидимъ довольно толстыя капли, помѣщенные вертикально одна подъ другою и остающіяся между собою пустые промежутки, въ 8 или 10 разъ превышающіе ихъ діаметръ.

Наконѣцъ есть особыя оптическія средства изучать строеніе струи. Такъ, если смотреть на струю чрезъ разрывъ, сдѣланный по направленію радіуса при окружности картоннаго диска помѣщеннаго между глазомъ и струей, и быстро обращаемаго съ опредѣленною скоростію, то можно видѣть струю раздѣленною на отдѣльныя капли. Той же цѣли можно достигнуть на болѣе значительномъ протяженіи, заставивъ струю падать передъ полосою, раздѣленною горизонтальными полосками на черныя и бѣлыя промежутки и приведенною въ быстрое дви-



Фиг. 676.

женіе снизу вверхъ съ опредѣленною скоростію. Такую полосу можно образовать помощію безконечнаго ремня, облетающаго два вала—верхній и нижній. Разложеніе струи помощію разрывовъ картона и помощію ремня съ горизонтальными полосками основывается на томъ же оптическомъ принципѣ, вслѣдствіе котораго, смотря на два колеса съ одинаковымъ числомъ спицъ, помѣщенные одно сзади другаго и приведенныя въ движеніе съ одинаковою скоростію, но въ противоположныя стороны,—мы видимъ какъ бы одно неподвижное колесо (если скорость движенія двухъ колесъ не одинакова, то кажущееся колесо представляется перемѣщающимся).

Можно также видѣть строеніе струи, освѣтивъ ее въ темнотѣ мгновеннымъ свѣтомъ электрической искры. Струя кажется раздѣленною на составляющія ее капли.

Изученіе струи, сдѣланное французскимъ ученымъ Саваромъ, привело къ слѣдующимъ заключеніямъ. Струя состоитъ изъ отдѣльныхъ капель; между каждыми двумя большими каплями находится маленькая капля. Эти маленькія капли служатъ причиною канала, кажущагося по оси струи. Еслибы большія капли на всемъ протяженіи сохраняли одинаковый діаметръ, то, вслѣдствіе смѣшенія впечатлѣній, струя представлялась бы въ видѣ цилиндра, и не было бы ни утолщеній, ни узловъ. Утолщенія и узлы происходятъ оттого, что всякая капля въ своемъ паденіи мѣняетъ форму и изъ сферической дѣлается то удлиненною, то сплюснутою. Всякая капля претерпѣваетъ эти измѣненія въ опредѣленныхъ точкахъ пути. Гдѣ капля сплюснута, тамъ утолщеніе; удлиненіе соответствуетъ узлу.

Всѣобщее замечаніе.

§ 159. Ньютоново доказательство что дѣйствіе земной тяжести простирается до луны. Чтобы подвергнуть вычисленію задачу о движеніи тяжелаго тѣла находящагося отъ земли на разстояніи луны, необходимо предварительно разрѣшить важный вопросъ: не ослабляется ли земное притяженіе на такомъ разстояніи какъ разстояніе луны и, если ослабляется, то по какому закону.

Движеніе луны около земли можно сравнить съ движеніемъ планетъ около солнца. Размышленія, основанныя на законахъ Кеплера, привели Ньютона къ заключенію что сила, удерживающая планеты на

ихъ орбитахъ направлена къ солнцу и что напряженіе ея уменьшается *пропорціонально квадрату разстоянія* *). Допустивъ что дѣйствіе земли на тя-

*) Элементарный выводъ Ньютонову закона квадратовъ разстояній можетъ быть сдѣланъ изъ третьяго Кеплерова закона, если принять (что не слишкомъ далеко отъ истины) что планеты обращаются около солнца по кругамъ, равномернымъ движеніемъ. Сравнимъ притяженіе, оказываемое солнцемъ на двѣ планеты, изъ которыхъ одна находится отъ него на разстояніи R , другая на разстояніи R' ; время обращенія первой назовемъ T , второй T' .

Разсматривая движеніе какъ круговое можемъ приложить къ нему формулы § 445.

Ускореніе, которое приобрѣла бы въ секунду первая планета, падая по прямой линіи на солнце будетъ:

$$G = \frac{4\pi^2 R}{T^3};$$

соотвѣтствующее ускореніе второй планеты будетъ:

$$G' = \frac{4\pi^2 R'}{T'^3}.$$

Слѣдов.

$$\frac{G}{G'} = \frac{R}{R'} \cdot \frac{T'^3}{T^3}.$$

Но согласно третьему Кеплерову закону, квадраты временъ обращеній планетъ около солнца относятся между собою какъ кубы ихъ разстояній отъ солнца. Слѣдов.

$$\frac{T'^2}{T^2} = \frac{R'^3}{R^3};$$

потому

$$\frac{G}{G'} = \frac{R'}{R}.$$

Ускоренія G и G' можно считать мѣрою притягательнаго дѣйствія солнца на единицу массы первой и второй планеты; потому можно сказать что *притяженіе солнца уменьшается пропорціонально квадрату разстоянія*.

желое тѣло ослабляется съ разстояніемъ по тому же закону какъ дѣйствія солнца на планеты, можно приступить къ упомянутой выше задачѣ. Но здѣсь возникаетъ слѣдующее затрудненіе. Чтобы сравнить дѣйствіе земли на камень, находящійся на ея поверхности и на другой, помѣщенный на такомъ разстояніи какъ луна, надо принять въ расчетъ во сколько разъ послѣдній находится далѣе отъ земли чѣмъ первый. Но что принять за разстояніе отъ земли камня помѣщенного на ея поверхности?

Сила съ какою земля дѣйствуетъ на камень есть сила притягательная; земля *притягиваетъ* камень подобно тому, напримеръ, какъ магнитъ притягиваетъ желѣзо. Естественно допустить, что силы направленные къ тѣламъ, зависятъ отъ натуры и величины этихъ тѣлъ и что притяженіе цѣлаго тѣла можно найти, приписавъ притягательное дѣйствіе каждой изъ его частицъ и слагая всѣ эти дѣйствія въ одну силу.

Разбирая теоретически, какъ должно дѣйствовать на внѣшнюю точку сумма частицъ, соединенныхъ такъ, что онѣ образуютъ однородный (или состоящій изъ однородныхъ концентрическихъ слоевъ) шаръ и допустивъ, что притяженіе каждой частицы происходитъ по упомянутому выше закону, Ньютонъ нашелъ, что общее притяженіе шара происходитъ такъ, какъ будто бы всѣ частицы (вся масса шара) были сосредоточены въ его центрѣ. Направленіе тяжести къ центру земли подтверждаетъ мысль, что притяженіе земли есть результатъ притяженія частицъ ее составляющихъ. Легко видѣть, что равнодѣйствующая всѣхъ отдѣльныхъ притяженій, дѣйствующихъ на точку помѣщенную внѣ шара должна быть направлена по линіи соединяющей эту точку съ центромъ шара, такъ какъ относительно этой линіи частицы шара расположены однообразно и для каждой частицы нѣтъ

найдется соответствующая направо, действующая одинаковымъ образомъ.

Такимъ образомъ за разстояніе отъ земли камня, находящагося на ея поверхности, должно принимать его разстояніе отъ центра земли, то-есть радіусъ земли; и чтобъ узнать во сколько разъ притяженіе оказываемое землею на какое-нибудь тѣло лежащее внѣ ея поверхности, будетъ менѣ притяженія оказываемого ею на тѣло находящееся на самой поверхности, надо опредѣлить во сколько разъ радіусъ земли менѣ разстоянія разсматриваемаго тѣла отъ земнаго центра. Тогда уменьшеніе притяженія будетъ пропорціонально квадрату этого числа.

Луна находится отъ центра земли на разстояніи 60 земныхъ радіусовъ. Слѣдовательно, напряженіе тяжести на такомъ разстояніи отъ земли должно быть въ 60² разъ менѣ напряженія замѣчаемаго на земной поверхности. Другими словами: если камень на земной поверхности, падая, проходитъ въ секунду пространство $\frac{g}{2} = 4,904$ метр., то этотъ камень будучи помѣщенъ отъ земли на разстояніи луны, прошелъ бы въ первую секунду пространство $\frac{4,904}{60^2}$ метр. = 0,001362 метр. Принявъ въ соображеніе что тяжелыя и легкія тѣла падаютъ отъ дѣйствія тяжести съ одинакою скоростію (вслѣдствіе пропорціональности вѣса и массы), можно сказать что это самое пространство прошла бы и сама луна въ секунду, еслибъ она не имѣла начальной скорости и по прямой линіи падала на землю какъ падаетъ камень. Хотя луна, вслѣдствіе начальной скорости, и не падаетъ прямолинейно на землю, однако изъ наблюденія ея криволинейнаго пути не трудно опредѣлить какое пространство прошла бы она въ секунду по напра-

вленію силы удерживающей ее на орбитѣ, если бы сила эта дѣйствовала безъ начальной скорости. Это пространство должно быть одинаково съ вычисленнымъ. Оказывается что оно есть 0,001356 метр., число весьма близкое къ предыдущему. Такимъ образомъ можемъ заключить, что причина удерживающая луну на ея орбитѣ есть не что-иное какъ тяжесть, действующая на луну.

Приведемъ самое вычисленіе. Движеніе луны около земли можно считать совершающимся по кругу съ постоянною скоростію, и приложить формулы, выведенныя въ § 445. Если бы не было начальной скорости, то луна двигалась бы къ землѣ по прямой линіи и въ концѣ первой секунды приобрѣла бы скорость выражающуюся формулою

$$\frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

гдѣ R радіусъ круга, описываемаго луною вокругъ земли, T время обращенія луны около земли, выраженное въ секундахъ, π отношеніе окружности къ діаметру. Пройденное въ первую секунду пространство было бы

$$\frac{2\pi^2 R}{T^2}$$

Но $R=60r$, гдѣ r радіусъ земли: $T=39343 \times 60$ сек. слѣд.

$$\frac{2\pi^2 R}{T^2} = \frac{2\pi^2 r \cdot 60}{(39343)^2 \cdot 60^2} = \frac{2\pi r \cdot \pi}{(39343)^2 \cdot 60}$$

$2\pi r$ представляетъ окружность земли, заключающую въ себѣ, какъ извѣстно, 40 000 000 метровъ, $\pi=3,14159$.

$$\frac{2R}{T^2} = \frac{40\,000\,000 \cdot \pi}{(39343)^2 \cdot 60} = 0,001356$$

Это число, какъ видимъ, весьма близко подходитъ къ числу

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{g}{60^2} = 0,001362,$$

принимая $g=9,8089$.

§ 460. **Всѣобщее тяготѣніе.** Подобно тому какъ луна удерживается на своей орбитѣ притяженіемъ земли, земля и планеты вращаются вокругъ солнца, повинаясь его притяженію. Такое заключеніе, какъ показалъ Ньютонъ, есть прямое слѣдствіе законовъ Кеплера. Изъ того закона Кеплера что площади описываемыя въ равныя времена линіями соединяющими планету и солнце равны между собою, слѣдуетъ что удерживающая планету сила направлена къ солнцу; изъ того закона что путь планеты есть эллипсисъ въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится солнце, выходитъ что сила солнечнаго притяженія по отношенію къ данной планетѣ измѣняется пропорціонально квадрату разстоянія планеты отъ солнца, уменьшаясь при удаленіи, возрастая при приближеніи.

„Третій законъ Кеплера (квадраты временъ обращеній планетъ около солнца относятся между собою какъ кубы ихъ среднихъ разстояній отъ солнца) связывающій общимъ соотношеніемъ разстоянія съ временами обращеній ведетъ *) въ теоретическомъ значеніи къ важному слѣдствію. Онъ доказываетъ что *одна и та же сила*, измѣняющаяся вмѣстѣ съ разстояніемъ отъ солнца, удерживаетъ всѣ планеты на ихъ орбитахъ; что притяженіе солнца дѣйствуетъ безразлично на всѣ тѣла нашей системы, изъ ка-
кихъ бы веществъ они ни состояли, въ точномъ от-

ношеніи ихъ массы; и что слѣдовательно эта сила не одинаковаго свойства съ избирательнымъ химическимъ притяженіемъ. или съ магнетизмомъ,... но есть сила болѣе общая, дѣйствующая одинаково на вещественныя частицы нашей системы, и простирающаяся свое вліяніе даже на другія системы міровъ... Еслибы можно было совлечь землю съ ея орбиты и бросить ее въ пространство, въ томъ мѣстѣ, гдѣ находится кака-либо другая планета, и сообщить ей здѣсь направленіе и скорость послѣдней, то земля стала бы описывать ту же самую орбиту, по которой движется планета, и имѣла бы одинаковый съ нею періодъ обращенія, за исключеніемъ маленькой поправки, проистекающей отъ разности между массами земли и планеты“.

Соединяя это заключеніе съ тѣмъ какое указано въ предыдущемъ параграфѣ, можемъ сказать, что та самая сила, повинаясь которой, планеты обращаются во кругъ солнца,—удерживаетъ луну на ея орбитѣ и заставляетъ камень падать на землю. Вся сложность явленій сводится къ одному простому началу: *всякія двѣ частицы вещества притягиваются взаимно прямо пропорціонально произведенію ихъ массъ и обратно пропорціонально квадрату ихъ разстоянія*. Этотъ законъ называется *закономъ Ньютона*.

Притяженіе есть сила взаимная: земля притягиваетъ луну, луна притягиваетъ землю; солнце притягиваетъ планеты, онѣ притягиваютъ солнце и взаимно притягиваются; всю солнечную систему можно сравнить съ группою тѣлъ, брошенныхъ въ пространство и подверженныхъ взаимному притяженію. И если въ предыдущихъ разсужденіяхъ мы разсматривали землю по отношенію къ лунѣ, солнце по отношенію къ планетамъ какъ неподвижные центры притяженія, то это только приближенно, на томъ ос-

*) Дж. Гершель въ *Очеркахъ Астрономіи*.

нованія что масса луны по сравненію съ землею и массы планетъ по сравненію съ солнцемъ суть очень малыя величины. Въ строгомъ смыслѣ два тѣла брошенныя въ пространство и взаимно притягивающіяся оба обращаются около общаго центра тяжести; и движеніе даннаго тѣла опредѣляется всею совокупностію испытываемыхъ ими притяженій отъ прочихъ тѣлъ системы.

Выразимъ формулою взаимное притяженіе двухъ массъ m и m' , находящихся между собою на разстояніи r . Мы знаемъ, что это притяженіе, которое назовемъ p , пропорціонально массамъ притягивающихся тѣлъ (или точнѣе произведенію массъ) и обратно пропорціонально квадрату ихъ разстоянія. Потому его величина выразится формулою:

$$p = \frac{mm'}{r^2} f,$$

гдѣ f постоянный коэффициентъ, означающій величину взаимнаго притяженія двухъ массъ равныхъ единицѣ и помѣщенныхъ одна отъ другой на единицѣ разстоянія (ибо при $m=1$; $m'=1$, $r=1$, будемъ имѣть $p=f$).

Пусть $m=M$ и выражаетъ массу какой-нибудь планеты, m , массу какого-нибудь тѣла, находящагося на ея поверхности, r радиусъ планеты. Въ такомъ случаѣ формула

$$p = \frac{Mm}{r^2} f$$

выразитъ силу тѣла m на этой планетѣ.

На другой планетѣ, которой масса M' , радиусъ r' , вѣсъ того же тѣла m' будетъ:

$$p' = \frac{M'm'}{r'^2} f.$$

И слѣдов.

$$\frac{p'}{p} = \frac{M' \cdot r^2}{M \cdot r'^2}.$$

Если M и r представляютъ массу и радиусъ земнаго шара, то p выражаетъ вѣсъ какого-нибудь тѣла на земной поверхности. Зная p , можно изъ послѣдней формулы найти вѣсъ p' того же

тѣла на другой какой-нибудь планетѣ или на солнцѣ, если только намъ извѣстны отношеніе $\frac{M'}{M}$ массы планеты или солнца къ массѣ земли, и отношеніе $\frac{r^2}{r'^2}$ квадратовъ радиусовъ земли и планеты или солнца.

Такъ какъ силы p и p' дѣйствуютъ на одну и ту же массу m' , то производимыя ими ускоренія пропорціональны величинѣ самыхъ силъ. Ускореніе на землѣ есть $g = 9,8$ метр.; назвавъ ускореніе на планетѣ или на солнцѣ буквою G , будемъ имѣть:

$$\frac{G}{g} = \frac{p'}{p} = \frac{M' \cdot r^2}{M \cdot r'^2}.$$

Отсюда

$$G = g \cdot \frac{M' \cdot r^2}{M \cdot r'^2}.$$

формула, изъ которой можно опредѣлять скорость паденія тѣла на данной планетѣ или на солнцѣ.

Существованіе взаимнаго притяженія тѣлъ можно обнаружить даже между земными предметами.

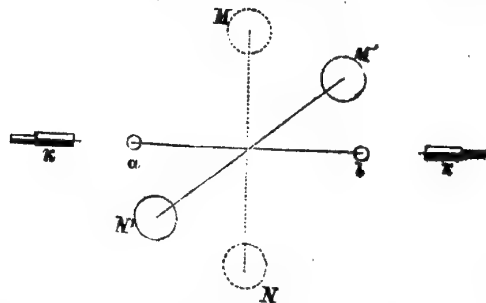
Уже Ньютонъ указывалъ на отклоненіе вѣсовъ долженъ испытывать маятникъ вблизи горныхъ массъ, какъ на средство повѣрить помощію опыта справедливость теоріи всеобщаго тяготѣнія. Въ 1774 Маскелинъ *) сдѣлалъ точныя наблюденія въ Шотландіи вблизи горы Шеаллинь (Schehallien) и указалъ существованіе притяженія, оказываемаго массою горы на тѣло маятника. Направленіе нити маятника будучи продолжено вверхъ, пересѣкаетъ небесный сводъ въ точкѣ называемой зенитомъ. Геодезическая съемка всей мѣстности въ окрестностяхъ станціи, помѣщенной вблизи горы, позволила вычисленіемъ опредѣлить въ какой точкѣ небеснаго свода долженъ находиться зенитъ этой станціи. При сравненіи этого положенія съ тѣмъ, какое даетъ непосредственное наблюденіе отвѣса обнаружилась замѣтная разниа, объясняющаяся притяженіемъ, какое испытываетъ гиря отвѣса со стороны горной массы. Зная размеры и составъ горы, Ма-

*) Маскелинъ (Maskelyne) англійскій ученый, известный астрономъ Гринвичской обсерваторіи. Родился 1732 года, умеръ 1811.

скелинъ могъ опредѣлить ея вѣсъ и плотность. А сравнивая притяженіе горы съ притяженіемъ всего земнаго шара, можно было найти приблизительно вѣсъ и плотность нашей планеты. Оказалось, что средняя плотность земли въ пять разъ болѣе плотности воды.

Кавендишъ (Cavendish), англійскій ученый конца XVIII столѣтія, пользуясь идеей Митчеля, обнаружилъ взаимное притяженіе между большимъ свинцовымъ шаромъ и другимъ маленькимъ, помѣщеннымъ близь перваго.

Легкій деревянный прутъ вѣшался на тонкой металлической нити, прикрѣпленной къ потолку закрытой комнаты. На концахъ прута (фиг. 677) были привѣшены два небольшихъ шара a и b . На прочномъ коромыслѣ MN висѣли два большихъ свинцовыхъ шара. Когда коромысло MN помѣщается перпендикулярно къ линіи ab , то большіе шары (изъ которыхъ каждый 158 килогр.) дѣйствуя одинаково на шары a и b , своими присутствіемъ не измѣняютъ положенія прута ab . Но какъ скоро, повернувъ коромысло, наблюдатель помѣщаетъ его въ положеніе $M'N'$, то дѣйствіе взаимнаго притяженія шаровъ M' и b , N' и a отклонитъ прутъ ab отъ его первоначальнаго положенія. Если



Фиг. 677.

бы не было крученія нити, на которой помѣщенъ прутъ ab , то маленькіе шары a и b пришли бы въ при-

косновеніе съ большими. Но какъ скоро ab выходитъ изъ первоначальнаго положенія равновѣсія, то нить закручивается и вслѣдствіе того обнаруживается сила крученія, стремящаяся возвратитъ прутъ въ первоначальное положеніе. Потому прутъ ab устанавливается въ такомъ положеніи, въ которомъ притяженіе шаровъ уравнивается крученіемъ нити. О положеніи коромысла судятъ, направляя зрительныя трубы на пластинки изъ слоновой кости, придрѣланныя къ концамъ прута и несущія мелкія дѣленія.

Должно замѣтить, что прутъ ab никогда не остается въ абсолютномъ покоѣ, но постоянно качается на право и налѣво отъ положенія равновѣсія какое онъ долженъ былъ бы занимать. Потому чтобъ опредѣлить это положеніе равновѣсія, должно брать среднее положеніе между двумя крайними какія онъ занимаетъ послѣдовательно.

Помощію такихъ опытовъ найдено, что средняя плотность земли равняется 5,67. Это число доказываетъ что вещества, составляющія ядро земнаго шара, значительно плотнѣе тѣхъ которыя составляютъ его кору. Средняя плотность твердой части земной коры не превышаетъ 2,6; а если принять въ разчетъ и жидкія части, то эта плотность оказывается не болѣе 1,5.

3) Изъ теоріи притяженія слѣдуетъ, что, по мѣрѣ углубленія въ землю, тяжесть должна уменьшаться, ибо слои, лежащіе выше какой-нибудь рассматриваемой частицы, притягиваютъ ее по противоположному направленію сравнительно съ тѣми которыя лежатъ ниже. Вычисленіе показываетъ, что если рассматриваемая частица находится внутри шара на разстояніи, положимъ, a отъ центра, то притяженіе всего шара приводится только къ притяженію сферическаго ядра имѣющаго радіусомъ a ; притяженіе всей части шара, заключающейся между поверхностію этой внутренней сферы и поверхностію самого шара равняется нулю.

Опыты надъ уменьшеніемъ тяжести, по мѣрѣ углубленія въ землю, были въ новое время произведены англійскимъ астрономомъ Эйри, сравнивавшимъ качанія двухъ маятниковъ, изъ которыхъ одинъ находился на земной поверхности, а другой въ рудникѣ на глубинѣ 380 метровъ.

§ 461. **Общіе замѣчанія о тяготѣніи.** Ученіе о тяготѣніи важно не только потому, что объясняетъ огромный кругъ явленій, но еще и потому, что внесло въ науку новое воззрѣніе на явленія, приложимое и къ другимъ областямъ. Оно утвердило въ наукѣ важное понятіе о *дѣйствіи на разстояніи*.

Вообще движенія въ природѣ происходятъ отъ взаимнаго дѣйствія тѣлъ, и тѣла дѣйствуютъ одно на другое или *при непосредственномъ прикосновеніи* (толчокъ, давленіе и т. п.) или *на разстояніи*.

Декартъ (знаменитый философъ XVII вѣка) и его послѣдователи приводили всѣ движенія къ перваго рода дѣйствіямъ *).

*) Фонтенель, секретарь Парижской Академіи Наукъ, въ началѣ прошлаго столѣтія, въ *Разговорахъ о множествѣ міровъ* слѣдующимъ образомъ игриво изображаетъ характеристическія черты Декартова ученія о природѣ: „Вся философія, говоритъ онъ, основывается на двухъ только вещахъ: на томъ что мы имѣемъ любопытный умъ и дурные глаза; если бы наши глаза были лучше чѣмъ они есть, мы увидали бы суть ли звѣзды солнца освѣщающія свои міры или нѣтъ; а если бы съ другой стороны мы были менѣе любопытны, то и не интересовались бы этимъ—что привело бы къ тому же. Но мы хотимъ знать больше чѣмъ сколько видимъ: вотъ въ чѣмъ трудность.... Я представляю себѣ природу обширнымъ зрѣлищемъ въ родѣ оперы. Съ вашего мѣста въ оперѣ вы не видите театра какъ онъ есть на самомъ дѣлѣ; декорации и машины расположены такъ, чтобы произвести издали пріятный эффектъ; колеса и противовѣсы, помощью которыхъ производятся всѣ движенія, скрыты отъ вашего взора. Да вы вовсе и не заботитесь угадать какъ все это приводится въ дѣйствіе. И только быть-можетъ какой-нибудь машинистъ, притаившійся въ партеръ, обзавоюся полетомъ, который покажется ему необыкновеннымъ, и захочетъ непременно угадать какъ полетѣть этотъ исполнитель. Вы видите, что машинистъ этотъ похожъ на философа. Но относительно философовъ трудность увеличивается тѣмъ, что въ машинахъ, какія природа представляетъ нашимъ глазамъ, веревки совершенно скрыты и скрыты такъ, что не скоро можно было догадаться что производитъ движенія во вселенной. Представьте себѣ въ оперѣ мудрецовъ: Пифагоровъ, Плато-

ло движется оттого что его толкаетъ другое тѣло. Такого мнѣнія держался, напримѣръ, Эйлеръ, объяснявшій происхожденіе движущей силы въ природѣ тѣмъ, что тѣло находится на пути другаго уже движущагося тѣла, и по непроницаемости не позволяеть этому послѣднему проникнуть чрезъ свое мѣсто.

Декартъ объяснял движеніе планетъ тѣмъ, что онѣ увлекаются потоками тонкаго вещества, кружащагося около солнца. Причину магнитнаго притяженія Эйлеръ видѣлъ въ подобномъ потокѣ тонкаго вещества, кружащагося во кругъ магнита, входящаго чрезъ одинъ полюсъ магнита и выходящаго чрезъ другой.

Идеи Декарта, по ихъ простотѣ и казавшейся ясности механическаго представленія, долго были господствующими, особенно на материкѣ Европы (въ Англіи большинство ученыхъ слѣдовало идеямъ Ньютона). Но, при болѣе подробномъ развитіи, онѣ не привели къ ожидаемымъ результатамъ. Придумывая для объясненія даннаго случая движенія тѣла потокъ уносящаго его вещества,—потокъ, существованіе котораго ничѣмъ не доказывалось,—ученые, слѣдовавшіе идеямъ Декарта, вступали въ область гипотезъ гораздо болѣе сложныхъ, чѣмъ простое представленіе о взаимномъ притяженіи или отталкиваніи тѣлъ и частицъ.

Дѣйствія, обнаруживающіяся при прикосновеніи тѣлъ, суть дѣйствія въ высшей степени сложныя. Для разъясненія ихъ, на сколько это возможно, ученые принуждены были прибѣгнуть къ тому же методу, какимъ Ньютонъ изучалъ взаимное дѣйствіе тѣлъ, и допустить, что абсолютнаго прикосновенія нѣтъ, и что явленія при прикосновеніи зависятъ отъ *взаимнаго дѣйствія частицъ на чрезвычайно маломъ разстояніи*. Это согласно съ гипотезою о тѣлѣ какъ суммѣ отдѣльныхъ частицъ, помѣщенныхъ на нѣкоторомъ разстояніи между собою.

новъ, Аристотелей, имена которыхъ нынѣ такъ громко звучать въ нашихъ ухахъ; положимъ, что они видятъ полетъ Фазтона, увлекаемаго вѣтрами, не могутъ открыть веревки и не знаютъ расположенія театра за кулисами. Одинъ говоритъ: „Фазтонъ увлекается нѣкимъ скрытымъ качествомъ.“ Другой: „Фазтонъ состоитъ изъ извѣстныхъ чиселъ, которыя заставляютъ его подниматься.“ Третій: „Фазтонъ имѣетъ извѣстное влеченіе къ верху театра; ему неловко если онъ не тамъ.“ Иной: „Фазтонъ не устроенъ для летанія, но онъ скорѣе полетитъ чѣмъ потерпѣть пустоту верху театра“, и сотни другихъ фантазій... Наконецъ приходятъ Декартъ и нѣкоторые изъ новыхъ и говорятъ: „Фазтонъ поднимается, потому что его тянутъ веревки и есть грузъ болѣе чѣмъ онъ тяжелый, который въ то же время опускается.“ Такимъ образомъ теперь не вѣрять болѣе чтобы тѣло двигалось, если его не тянетъ что-либо, или точнѣе, если его не толкаетъ другое тѣло: не вѣрять, чтобы оно поднималось или опускалось иначе какъ вслѣдствіе дѣйствія противовѣса или пружины; и тотъ кто увидѣлъ бы природу какъ она есть, увидѣлъ бы закулисную сторону театра.“

Въ настоящее время въ наукѣ господствуетъ представленіе о *дѣйствіяхъ на разстояніи*, введенное Ньютономъ и оказавшееся столь плодотворнымъ въ своихъ слѣдствіяхъ.

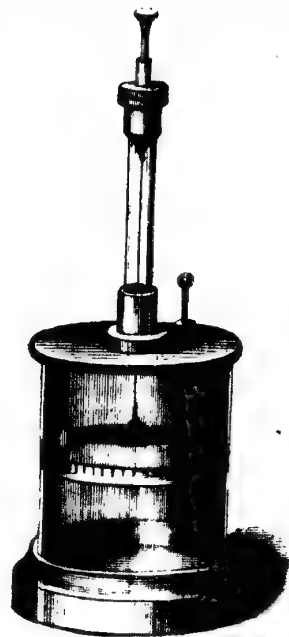
Допускаютъ, что между тѣлами или, точнѣе, между частицами существуютъ взаимныя дѣйствія для которыхъ онѣ служатъ центрами. Мы изучаемъ законы этихъ дѣйствій; ихъ причины остаются для насъ неизвѣстны. Такъ, мы знаемъ что всѣ тѣла притягиваются взаимно по закону квадрата разстояній, но не знаемъ что производитъ это взаимное стремленіе тѣлъ сближаться между собою. Многие ученые видятъ въ этомъ первоначальное свойство матеріи.

Присоединимъ, что притягательное дѣйствіе отъ центра притяженія доходитъ до притягиваемаго тѣла, можно сказать, мгновенно. Еслибы въ данный моментъ солнце уничтожилось, то оно въ продолженіи нѣкотораго времени еще казалось бы намъ свѣтящимъ, ибо его послѣдній лучъ достигъ бы до насъ только чрезъ нѣкоторое время. Но притягательное дѣйствіе прекратилось бы вмѣстѣ съ исчезновеніемъ тѣла, и земля въ тотъ же самый моментъ пошла бы по касательной линіи. Лапласъ показывалъ, что скорость распространенія тяготѣнія должна быть по крайней мѣрѣ въ пятьдесятъ милліоновъ разъ болѣе скорости свѣта. Иначе ея вліяніе обнаружилось бы въ астрономическихъ явленіяхъ.

Законы электрическихъ и магнитныхъ дѣйствій.

§ 462. Кулоново изслѣдованіе законовъ электрическихъ притяженій и отталкиваній. Для опытовъ надъ взаимнымъ отталкиваніемъ одинаково наэлектризованныхъ тѣлъ Куломбъ (1785) употреблялъ снарядъ названный имъ *крутильными отвѣсами* (фиг. 678). Онъ вѣшалъ на очень тонкой серебряной нити родъ стрѣлки изъ соломенки покрытой сургучемъ и имѣвшей на одномъ концѣ бузинный шарикъ, а на другомъ для равновѣсія и замедленія качаній, вертикальный бумажный кружокъ. Головка, на которой повѣшена нить, повертывалась такъ что нить безъ крученія помѣщалась стрѣлку въ направленіи нуля дѣленій бумажной ленточки, наклеенной на цилиндръ на высотѣ стрѣлки. Дабы судить какое дѣленіе скалы соответствовуетъ данному положенію стрѣлки, должно смотрѣть такъ чтобы нить и центръ бузиннаго шарика были въ одной плоскости. Чрезъ отверстіе въ крышкѣ вводится маленькій цилиндръ, котораго нижняя часть изъ шеллака съ бузиннымъ же шарикомъ на концѣ. Цилиндръ устанавливается такъ чтобы его шарикъ былъ въ прикосновеніи съ шарикомъ стрѣлки. Электризуютъ маленький кондукторъ, который есть не что иное какъ булавка съ большою головкой, воткнутая въ конецъ сургучной палочки; вводятъ булавку въ отвер-

стіе*) и касаются неподвижнаго шарика находящагося въ прикосновеніи съ подвижнымъ. Булавку удаляютъ; оба шарика оказываются наэлектризованными одноименнымъ электричествомъ и отталкиваются взаимно на разстояніе которое не трудно опредѣлить, смотря на дѣленіе скалы по направленію нити и центра шарика. Вертя головку нити, производятъ силу пропорціональную углу крученія и стремящуюся приблизить оттолкнутой шарикъ къ неподвижному. Наблюдаютъ этимъ способомъ на какое разстояніе различные углы крученія сближаютъ шарики, и сравнивая силы крученія съ соответствующими разстояніями, опредѣляютъ законъ отталкиванія. Въ одномъ изъ опытовъ первое отклоненіе по наэлектризованіи было 36° . Когда головка была повернута на 126° шарикъ стрѣлки приблизился къ неподвижному и остановился на разстояніи 18° . Когда нить была закручена на 167° шарикъ сблизились до $8\frac{1}{2}^\circ$. Разстояніе шариковъ при отклоненіи 18° можно считать вдвое меньшимъ чѣмъ при отклоненіи 36° , при отклоненіи $8\frac{1}{2}^\circ$ *четверо* меньшимъ. Сила крученія стремящаяся сблизить шарики при отклоненіи 36° пропорціональна этому числу градусовъ и можетъ быть выражена числомъ 36; при отклоненіи 18° она есть 18 — то число градусовъ, на какое закручена головка, то-есть $=18+126=144$; слѣдов. *четверо* болѣе. При отклоненіи $8\frac{1}{2}^\circ$ сила есть $8\frac{1}{2}+567=575\frac{1}{2}$, или почти 576, то-есть *четверо* болѣе втораго и въ 16 разъ болѣе перваго опыта **) Отсюда слѣдуетъ что взаимное отталкиваніе двухъ одноименно наэлектризованныхъ шариковъ можно разсматривать какъ одну электрическую частину помѣщенную въ его центрѣ. *обратно пропорціонально квадрату ихъ разстоянія.*



Фиг. 678.

*) На фиг. 678 отверстіе изображено закрытымъ. Наэлектризованіе предполагается чрезъ посредство наружнаго шарика находящагося въ проводящемъ сообщеніи съ внутреннимъ.

**) Для болѣе точнаго истолкованія этихъ опытовъ надлежитъ разстояніе шариковъ считать не по дугѣ отклоненія, а по прямой линіи (хордѣ соединяющей ихъ центры. По этой же линіи направлено и ихъ взаимодействіе уравновѣшиваемое крученіемъ нити. Заключение получается то же.

Для опредѣленія закона электрическихъ притяженій, Куломбъ бралъ большой шаръ изъ тонкой мѣди или изъ картона покрытаго оловомъ, въ футъ въ діаметрѣ и помѣщалъ его на хорошо изолирующей подставкѣ (шаръ покоился на четырехъ стеклянныхъ ножкахъ, имѣвшихъ при концахъ столбики изъ сургуча дюйма въ четыре длиною). Маленькая стрѣлка изъ непроводника (15 линій длиною) вѣшалась на одной шелковникѣ взятой прямо изъ кокона (почти не имѣвшей силы крученія) и имѣла на концѣ маленький кружокъ 8 или 10 линій въ діаметрѣ укрепленный перпендикулярно къ длинѣ стрѣлки. Шаръ электризовался однимъ электричествомъ, кружокъ — электричествомъ противоположнымъ. Подъ вліяніемъ притяженія разноименныхъ электричествъ, стрѣлка качалась на подобіе маятника. Въ одномъ изъ опытовъ были получены слѣдующія данныя:

Кружокъ помѣщенный въ 3 дюймахъ отъ поверхности шара, т.-е. въ 9 д. отъ центра сдѣлалъ 15 качаній въ 20"
Помѣщенный на разстояніи 18 дюймовъ отъ центра сдѣлалъ 15 качаній въ 41"
Удаленный на 24 дюйма сдѣлалъ 15 качаній въ 60"

Куломбъ слѣдующимъ образомъ истолковываетъ этотъ опытъ. „Когда всѣ точки сферической поверхности дѣйствуютъ притягательно или отталкивающе, по закону квадрата разстояній, на точку помѣщенную на нѣкоторомъ разстояніи отъ этой поверхности, то, какъ извѣстно, дѣйствіе происходитъ такъ какъ еслибы вся поверхность была сосредоточена въ центрѣ сферы. Съ другой стороны, такъ какъ въ нашемъ опытѣ кружокъ былъ не болѣе 7 линій въ діаметрѣ и наименьшее разстояніе его отъ центра сферы не менѣе 9 дюймовъ, то можно безъ чувствительной ошибки принять всѣ линіи идущія отъ центра шара къ точкамъ кружка параллельными и равными, а слѣдовательно все дѣйствіе кружка представить себѣ соединеннымъ въ его центрѣ, подобно дѣйствію шара. Такимъ образомъ, при малыхъ качаніяхъ, дѣйствіе проводящее въ движеніе стрѣлку имѣетъ, для даннаго разстоянія постоянную величину и обнаруживается по направленію соединяющему два центра. Если назовемъ силу (дѣйствующую на каждый изъ полюсовъ стрѣлки) буквою f , время даннаго числа качаній буквою T , то T должно быть пропорціонально $\frac{1}{\sqrt{f}}$ *). Но если d есть разстояніе центра шара отъ центра

*) По аналогіи съ маятникомъ, гдѣ время T соответствующее n качаніямъ, выражается формулою $T = nt = n\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ и слѣд. пропорціонально для даннаго маятника $\frac{1}{\sqrt{g}}$, величина же g есть мѣра дѣйствія тяжести на данную массу.

кружка и если притяженіе дѣйствуетъ обратно пропорціонально квадрату разстояній (то-есть f пропорціонально $\frac{1}{d^2}$), то отсюда слѣдуетъ что T должно быть пропорціонально просто d или разстоянію. Такимъ образомъ, въ нашихъ опытахъ продолжительность пятнадцати качаній должна измѣняться пропорціонально разстоянію центровъ. Сравнимъ теорію съ опытомъ.

При разстояніи центровъ на 9 дюймовъ, 15 качаній въ 20"	18 "	"	"	"	41"
"	"	24 "	"	"	60"
Разстоянія относятся между собою какъ	3,	6,	8		
Времена того же числа качаній	20,	41,	60		
По теоріи должно быть	20,	40,	54		

Такимъ образомъ въ трехъ испытаніяхъ разница между теоріею и опытомъ простирается до $\frac{1}{10}$ въ послѣднемъ сравнительно съ первымъ. Но должно замѣтить, что требовалось около четырехъ минутъ для производства трехъ испытаній, и хотя въ день опытовъ электричество долго сохранялось, оно однако же теряло $\frac{1}{10}$ дѣйствія въ минуту. Этимъ объясняется указанная небольшая разница.

§ 463. Зависимость электрическихъ дѣйствій отъ количества взаимодействующихъ электричествъ. Изслѣдованіе зависимости электрическихъ взаимодействій отъ количества электричества или отъ *электрической массы* дѣйствующихъ частицъ производится на основаніи того очевиднаго положенія, что въ двухъ равныхъ приведенныхъ въ прикосновеніе металлическихъ или иныхъ проводящихъ шарикахъ, электричество раздѣляется только одинъ наэлектризованный, электричество раздѣляется поровну, такъ что на каждомъ оказывается половина того количества m какое было на первоначально наэлектризованномъ. Пусть, напримѣръ, въ опытѣ съ крутильн. наэлектризованнымъ шарикомъ подвижный наэлектризованный шарикъ отталкивается наэлектризованнымъ неподвижнымъ съ такою силою что при извѣстномъ закрученіи нити подвижный удерживается на разстояніи 30° отъ неподвижнаго. Можно доказать

что сила отталкиванія пропорціональна величинѣ $\frac{mm'}{r^2}$, гдѣ m количество электричества на неподвижномъ (масса электрической частицы какъ бы сосредоточенной въ центрѣ) m' на подвижномъ шарикѣ, r разстояніе. Дѣйствительно, коснемся неподвижнаго шарика другимъ совершенно съ нимъ одинаковымъ и удалимъ послѣдній; масса m сдѣлается, согласно сказанному, вдвое меньше. Сила слѣдов. будетъ $\frac{1}{2} \frac{mm'}{r^2}$ какъ и можно убѣдиться помощію опыта: крученіе надлежитъ ослабить вдвое чтобы сохранить тотъ же уголъ отталкиванія.

Подобнымъ приемомъ можно массу m ! уменьшать вдвое; сила уменьшится еще вдвое и будетъ четверть первоначальной и т. д.

§ 464. Кулоново изслѣдованіе законовъ магнитныхъ дѣйствій. Куломбъ бралъ длинную стальную проволоку въ 25 дюймовъ длины и очень короткую магнитную стрѣлку (около дюйма длиною). Проволока была тщательно наматывалась, и опытъ показалъ что магнитное напряженіе ея сосредоточено на протяженіи двухъ или трехъ дюймовъ при концахъ, такъ что центръ дѣйствія (полюсъ) каждой половины находился приблизительно на разстояніи 10 линий отъ конца. Полюсы стрѣлки были на разстояніи 1 или 2 линий отъ концевъ. Такимъ образомъ какъ стрѣлку такъ и проволоку можно было разсматривать какъ совокупность двухъ полюсовъ, какъ бы двухъ магнитныхъ частицъ помѣщенныхъ одна отъ другой въ стрѣлкѣ на разстояніи около дюйма, въ проволокѣ около 25 дюймовъ. Взаимодѣйствіе проволоки и стрѣлки приводится слѣдов. къ четыремъ силамъ: двѣ отталкивательныя между одноименными, двѣ притягательныя между разноименными полюсами. Чтобы опредѣлить какъ измѣняется величина этихъ силъ въ зависимости отъ разстоянія, Куломбъ помѣщалъ стрѣлку на разныхъ разстояніяхъ отъ вертикально поставленной въ магнитномъ меридіанѣ магнитной проволоки (кверху полюсомъ противоположнымъ съ ближайшимъ полюсомъ стрѣлки) такъ чтобы горизонтальная плоскость проходящая чрезъ стрѣлку пересѣкала проволоку на 10 линияхъ разстоянія отъ ея верхняго конца. Такъ какъ нижній полюсъ былъ сравнительно далеко отъ стрѣлки, то его дѣйствіемъ можно было пренебречь и разсматривать только дѣйствіе верхняго полюса, приводящееся къ двумъ силамъ: притяженіе ближайшаго и отталкиваніе дальнѣйшаго полюсовъ стрѣлки. Такъ какъ стрѣлка весьма коротка, то силы можно было считать равными и при уклоненіяхъ стрѣлки постоянными по величинѣ и направленію (пара силъ). Стрѣлка выводилась изъ положенія равновѣсія и опредѣлялось число ея качаній въ минуту. Опытъ далъ слѣдующія числа:

- 1.) Свободная стрѣлка, качаясь подъ вліяніемъ только земнаго магнетизма, дѣлала 15 качаній въ . . . 60"
- 2.) Когда проволока была въ разстояніи 4 дюймовъ отъ середины стрѣлки стрѣлка дѣлала 41 кач. въ 60"
- 3.) При разстояніи 8 дюймовъ 24 кач. въ . . . 60"
- 4.) При разстояніи 16 дюймовъ 17 кач. въ . . . 60"

Въ случаѣ маятника величина силы производящей качанія пропорціональна квадрату числа качаній. Этотъ законъ, какъ показываетъ теоретическое разсмотрѣніе вопроса, имѣетъ мѣсто и въ разсматриваемомъ случаѣ качаній магнитной стрѣлки и сила P дѣйствующая на одинъ изъ полюсовъ стрѣлки, какъ, и равная ей— P дѣйствующая на другой, пропорціональ-

ны квадрату числа качаній. Въ первомъ опытѣ сила P есть дѣйствіе земли, которое назовемъ буквою F , во второмъ и слѣдующихъ опытахъ P есть сумма дѣйствія земли и дѣйствія полюса N проволоки: то-есть $F+F_1$, во второмъ опытѣ, $F+F_2$, въ третьемъ, $F+N_2$, въ четвертомъ. Назвавъ число качаній въ первомъ, второмъ, третьемъ и четвертомъ опытахъ буквами N, N_1, N_2, N_3 , будемъ имѣть

$$\frac{F+F_1}{F} = \frac{N_1^2}{N^2}, \quad \frac{F+F_2}{F} = \frac{N_2^2}{N^2}, \quad \frac{F+F_3}{F} = \frac{N_3^2}{N^2} \quad \text{или}$$

$$\frac{F_1}{F} = \frac{N_1^2 - N^2}{N^2}, \quad \frac{F_2}{F} = \frac{N_2^2 - N^2}{N^2}, \quad \frac{F_3}{F} = \frac{N_3^2 - N^2}{N^2}.$$

Другими словами силы F_1, F_2, F_3 пропорціональны разностямъ $N_1^2 - N^2, N_2^2 - N^2, N_3^2 - N^2$. Въ описанныхъ опытахъ имѣемъ слѣдующее

2.) При разстояніи	4 дюймовъ	$= 41^2 - 15^2 =$	1456
3) " "	8 "	$= 24^2 - 15^2 =$	351
4) " "	16 "	$= 17^2 - 15^2 =$	64

Числа втораго и третьяго опыта весьма близко оправдываютъ законъ квадрата разстояній. Разстояніе въ третьемъ опытѣ *вообще* болѣе чѣмъ во второмъ; сила F_2 пропорціональная числу 351 приблизительно *четверо* менѣе силы F_1 , выражающейся числомъ 1456. Сила F_2 должна быть въ $4^2 = 16$ разъ менѣе силы F_1 . Полученное на опытѣ число 64 слишкомъ мало, ибо составляетъ менѣе чѣмъ 22 долю числа 1456. Это объясняется отчасти тѣмъ, что въ четвертомъ опытѣ и нижній полюсъ оказывалъ замѣтное вліяніе. Приравъ въ расчетъ его дѣйствіе Куломбъ нашелъ что онъ почти на пятую долю уменьшилъ число колебаній, такъ что число которое получили бы если бы нижній полюсъ былъ достаточно далеко, было бы 79. Это число въ 18 разъ менѣе 1456, что довольно уже близко къ требуемой теоріею шестнадцатой доли. Различіе объясняется тѣмъ что въ опытахъ участвовало дѣйствіе магнетизма чрезъ вліяніе.

Для опредѣленія того же закона въ случаѣ отталкиванія Куломбъ прибѣгъ къ другой методѣ: методѣ крученія подобной той какою пользовался для вывода закона электрическихъ дѣйствій.

Наиболѣе точное оправданіе закона квадрата разстояній можно получить, наблюдая небольшія отклоненія короткой стрѣлки (метода Гаусса) отъ дѣйствія магнита помѣщаемого на довольно значительныхъ разстояніяхъ и въ разныхъ положеніяхъ относительно стрѣлки.

III. Силы дѣйствующія на очень близкихъ разстояніяхъ.

§ 465. **Общее понятіе о частичныхъ силахъ.** Приведа планетныя движенія къ одной силѣ тяготѣнія причины которой намъ неизвѣстны, но которая дѣйствуетъ по извѣстному закону. Ньютонъ желалъ перенести тотъ же приемъ изслѣдованія въ область и другихъ физическихъ явленій. Въ концѣ предисловія къ *Началамъ* онъ говоритъ слѣдующія слова: „Я вывелъ, съ помощію математическихъ соображеній, движеніе планетъ изъ дѣйствующихъ на нихъ силъ. Желательно было бы и другія явленія природы объяснить изъ механическихъ началъ помощію того же способа разсужденія. Многія соображенія побуждаютъ меня догадываться, что явленія эти зависятъ отъ нѣкоторыхъ силъ, которыми частицы тѣлъ, вслѣдствіе причинъ намъ еще неизвѣстныхъ, гонятся одна къ другимъ и соединяются въ правильныя фигуры, или сталкиваются взаимно и убѣгаютъ одна отъ другихъ: и именно отъ незнанія этихъ силъ происходили неудачи ученыхъ въ дѣлѣ испытанія природы.“ Это предпріятіе, начало которому положилъ Ньютонъ, было продолжено его преемниками, и наука (особенно въ концѣ прошедшаго и въ началѣ нынѣшняго столѣтія) обогатилась цѣлыми новыми отдѣлами, въ основѣ математической обработки которыхъ положена мысль о взаимныхъ дѣйствіяхъ частицъ, или другими словами о *молекулярныхъ силахъ*.

Мы переносимъ въ міръ частицъ тѣ понятія которыя приобретаемъ чрезъ изученіе тѣлъ: разсуждаемъ о мірѣ частицъ такъ какъ если бы это былъ міръ малыхъ тѣлъ. Краткій очеркъ явленій зависящихъ отъ *частичныхъ силъ* начнемъ съ явленій, наблюда-

емыхъ при соприкосновеніи тѣлъ: явленій удара, тренія, прилипанія.

§ 466. **Явленія удара тѣлъ.** Ударъ, со времени Декарта, многими учеными разсматривался какъ первоначальное явленіе, „удалившись отъ котораго (по выраженію Кювье) мы не можемъ составить ясной идеи объ отношеніяхъ между причиной и дѣйствіемъ“ въ физическомъ мірѣ. Согласно воззрѣніямъ такого рода „малѣйшимъ частицамъ принадлежитъ одно основное качество—непроницаемость, и онѣ оказываютъ взаимное дѣйствіе лишь потому что, находясь въ движеніи, вытѣсняють одна другую“. Эйлеръ, учившій такимъ образомъ, спрашивалъ: „неужели должны мы допустить что кромѣ матеріи и духа есть третья форма бытія: сила?“

Согласно воззрѣніямъ нынѣ господствующимъ, основное начало, къ какому сводится объясненіе физическихъ явленій, есть *дѣйствіе на разстояніи* (притяженіе и отталкиваніе). Частицы не приходятъ въ непосредственное прикосновеніе; явленія прикосновенія суть только явленія значительной близости. Вещественный міръ не есть міръ несвязанныхъ пылинокъ, отъ начала получившихъ и нынѣ сохраняющихъ извѣстный запасъ движенія преобразующагося, вслѣдствіе столкновений и непроницаемости, въ разныя виды. Это міръ пылинокъ, между которыми существуютъ взаимодѣйствія—притяженія и отталкиванія. Въ идеальномъ механическомъ построеніи физическаго міра должно принимать въ расчетъ какъ существующее движеніе такъ и дѣйствующія силы. Самое явленіе удара есть явленіе далеко не элементарное, а напротивъ весьма сложное, при точномъ разборѣ котораго необходимо прибѣгать къ изслѣдванію частичныхъ силъ дѣйствующихъ на разстояніи.

Мы ограничимся лишь самымъ элементарнымъ об-

зоромъ явленій этого рода въ простѣйшихъ случаяхъ.

Допустимъ, что два шара (фиг. 679) движутся по одному направленію, и что шаръ *A* движется быстрее нежели идущій передъ нимъ *B* и догоняетъ этотъ послѣдній. Обратимъ вниманіе на явленія, какими сопровождается это столкновение двухъ шаровъ.



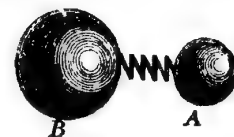
Фиг. 679.

Шаръ *A*, достигнувъ шара *B*, давить на встрѣчаемыя имъ первыя частицы этого послѣдняго и ускорять ихъ движеніе. Это ускореніе передается мало по малу всей массѣ шара *B*. Но эта передача не можетъ совершиться мгновенно. Первыя частицы, получающія ударъ, приобрѣтаютъ приращеніе скорости въ то время, когда оно еще не успѣло сообщиться всему тѣлу *B*, и слѣдовательно, приближаются къ центру. Съ другой стороны переднія частицы шара *A*, первыя которыя касаются шара *B*, замедляются въ своемъ движеніи въ то время какъ это замедленіе не успѣло еще сообщиться всему шару, и, слѣдов., также приближаются къ центру своего шара. Отсюда происходитъ измѣненіе формы обоихъ шаровъ: они становятся сплюснутыми. Пока скорость шара *A* превышаетъ скорость шара *B*, и, слѣдов., *A* продолжаетъ толкать *B*, измѣненіе формы продолжается, — пока наконецъ оба шара получаютъ одинаковую скорость.

Съ этого момента явленіе происходитъ различнымъ образомъ, смотря по свойствамъ ударяющихся тѣлъ. Если эти тѣла такого рода, что измѣненія ихъ формы остаются, то дѣйствіе силъ обнаруживающихся при ударѣ оканчивается съ того момента какъ оба тѣла приобрѣли одинаковую скорость: тогда они движутся съ общою скоростью, не производи дѣйствія одно на

другое. Такъ бываетъ съ тѣлами *неупругими*, каковы, примѣръ, свинцовые шары. Но если ударяющіяся тѣла *упруги*, то ударъ еще не оканчивается, когда они получаютъ общую скорость. Упругія тѣла стремятся возстановить свою измѣненную форму, и если они *совершенно упруги*, то дѣйствіе, обнаруживающееся въ эту вторую половину удара, оказывается равнымъ тому, которое въ первую половину произвело измѣненіе формы.

Слѣдующимъ способомъ можемъ мы объяснить нагляднѣе явленія происходящія во время удара тѣлъ. Вообразимъ что между ударяющимися тѣлами находится пружина (фиг. 680), эта пружина, пока шаръ *A* движется быстрее чѣмъ *B*, сжимается болѣе и болѣе. Допустимъ, что она можетъ только сжиматься, но, будучи сжата, не стремится придти въ прежнее состояніе. Будемъ имѣть случай *неупругаго* тѣла. Но если пружина упругая, то какъ скоро пре-



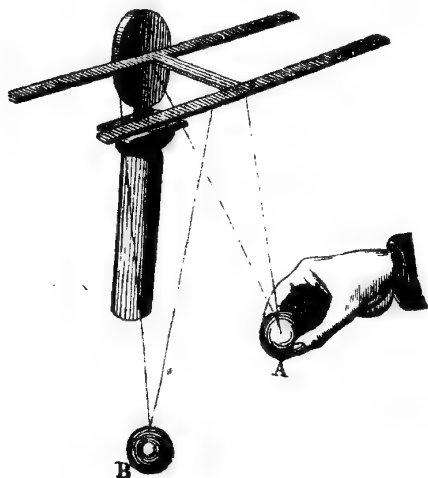
Фиг. 680.

кращается дѣйствіе сжимающей ее причины, она снова расширяется, производя давленіе въ обѣ стороны съ силою равною той, которая произвела сжатіе. Описываемыя нами явленія совершаются въ очень краткій промежутокъ времени, ускользящій отъ непосредственнаго наблюденія: мы застаемъ тѣла когда ударъ уже кончился и болѣе изучаемъ скорости, какія они получаютъ послѣ удара, чѣмъ силы обнаруживающіяся во время ихъ столкновенія.

Замѣтимъ также, что въ природѣ нѣтъ ни совершенно упругихъ, ни совершенно неупругихъ тѣлъ. Потому законы выводимые для этихъ двухъ идеальныхъ случаевъ, только до нѣкоторой степени оправдываются явленіями наблюдаемыми въ природѣ; причемъ одни тѣла приближаются болѣе къ случаю не-

упругихъ, другія въ случаѣ упругихъ. Свинцовые, глиняные шары могутъ служить примѣромъ тѣхъ перваго рода; какъ примѣръ упругихъ тѣлъ, при опытахъ, удобно употреблять шары изъ слоновой кости.

Снарядъ изображенный на фиг. 681 можетъ служить для показанія главныхъ явленій удара тѣлъ.



Фиг. 681.

Если два неупругихъ шара *равной массы* движутся одинъ противъ другаго съ *равною скоростью*, то послѣ столкновенія они остаются въ покоѣ: движеніе одного уничтожается движеніемъ другаго. Въ случаѣ упругихъ шаровъ явленіе происходитъ иначе. Послѣ краткаго промежутка времени, въ продолженіе котораго шары прижимались одинъ къ другому, измѣняя взаимно свою форму, наступаетъ вторая половина удара, и сила упругости, возстановляющая форму, обнаруживаетъ свое дѣйствіе тѣмъ, что отталкиваетъ шары одинъ отъ другаго. Шары удаляются одинъ отъ другаго, и это *отраженіе* происхо-

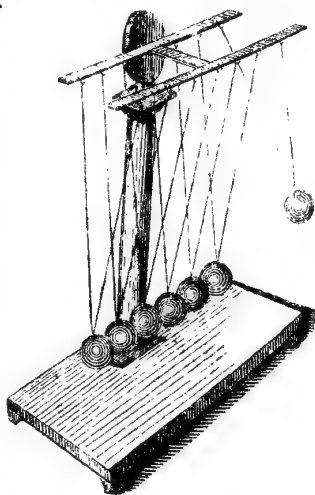
дитъ съ тою же скоростью, съ какою они приближались одинъ къ другому.

Если до удара одинъ упругій шаръ двигался скорѣе другаго, то послѣ удара они обмѣниваются скоростями; такимъ образомъ если шаръ *A* былъ до удара отклоненъ вправо на 10° отъ вертикальной линіи, а шаръ *B* на 20° , то послѣ удара (который совершится въ моментъ, когда они оба придутъ въ вертикальное положеніе) они, обмѣнявшись скоростями, отразятся: шаръ *A* возвратится вправо и поднимется приблизительно на 20° , шаръ *B* влѣво на 10° .

Если неупругій шаръ находится въ покоѣ, и его ударяетъ другой *равный* ему шаръ, то ударяющій шаръ теряетъ часть своей скорости, приобретаемую ударяемымъ, и послѣ удара они движутся вмѣстѣ со скоростью, равною половинѣ той какую ударяющій шаръ имѣлъ до удара. Не такъ происходитъ явленіе въ случаѣ упругихъ шаровъ. Вначалѣ, до того момента, когда оба шара приобретаютъ одинаковую скорость, оно происходитъ такъ же какъ и въ случаѣ неупругихъ шаровъ. Но съ этого момента начинается дѣйствіе упругости. Для шара ударяющагося оно обнаруживается въ сторону противоположную его движенію; для шара ударяемаго въ ту же сторону въ какую онъ приобрѣлъ движеніе отъ полученнаго толчка. Такимъ образомъ если скорость ударяющаго шара была *v*, то въ продолженіе первой половины удара онъ утратитъ $\frac{1}{2}v$ и еще столько же потеряетъ отъ дѣйствія упругости во вторую половину. Следовательно послѣ удара онъ останется въ покоѣ. Шаръ ударяемый приобретаетъ въ первую половину удара скорость $\frac{1}{2}v$ и столько же придаетъ ему упругость во вторую половину. Следовательно, послѣ удара онъ будетъ имѣть скорость *v*, какую ударяющій шаръ имѣлъ до удара. Вся эти дѣйствія произойдутъ въ очень краткій промежутокъ времени, и

мы замѣтимъ только ихъ результатъ, а именно: ударяющій шаръ послѣ удара останется въ покоѣ, передавъ всю свою скорость ударяемому шару.

Помѣстивъ рядомъ нѣсколько упругихъ шаровъ, мы можемъ сдѣлать опытъ съ передачею удара въ слѣдующей любопытной формѣ. Выводимъ крайній шаръ (фиг. 682) изъ его положенія равновѣсія и выпускаемъ его изъ рукъ. Возвращаясь назадъ, онъ даетъ ударъ всей системѣ. Еслибъ эта система состояла изъ ряда неупругихъ шаровъ, напри- м. свинцовыхъ, то она вся получила бы отъ удара небольшое движеніе, котораго скорость зависѣла бы отъ массы всѣхъ шаровъ сравнительно съ массою ударяющаго шара. Но если шары упругіе (изъ слоновой кости), то послѣ удара вся система остается въ покоѣ, и только крайній шаръ отскакиваетъ, поднимаясь на высоту, которая была бы равна той, съ какой пущенъ ударяющій шаръ, еслибъ система состояла изъ тѣлъ, совершенно упругихъ. Въ этомъ опытѣ движеніе передается послѣдовательно отъ одного шара къ другому; всякій шаръ, исключая послѣдняго, остается на своемъ мѣстѣ и только измѣняетъ свою форму, вначалѣ сжимаясь, а потомъ возстановляя свой прежній видъ и производя дѣйствіе на шаръ слѣдующій за нимъ. Такая передача дѣйствія требуетъ опредѣленнаго времени, но въ случаѣ нѣсколькихъ шаровъ мы не можемъ его замѣтить, по его краткости. Этотъ опытъ важенъ, ибо подобная передача движенія мо-



Фиг. 682.

жетъ совершаться не только въ системѣ состоящей изъ отдѣльныхъ упругихъ тѣлъ, но и въ самой толщѣ упругаго тѣла. Подобнымъ образомъ звукъ распространяется въ воздухъ и другихъ тѣлахъ.

Пользуясь закономъ дѣйствія равнаго противодѣйствію и рассматривая ударяющіяся тѣла какъ двѣ матеріальныя точки имѣющія массы m и m' , не трудно, въ общемъ видѣ, вывести величину скорости, какую послѣ удара имѣтъ тѣло сталкивающееся съ другимъ. Начнемъ съ случая тѣлъ *неупругихъ*. Пусть тѣло имѣющее массу m и скорость v , сталкивается съ другимъ имѣющимъ массу m' и скорость v' . Столкновеніе становится источникомъ силы F , дѣйствующей короткое время пока длится ударъ, и толкающей съ равнымъ напряженіемъ первое тѣло въ одну второе въ другую сторону. Дѣйствіемъ этой силы измѣняется скорость какъ перваго такъ и втораго тѣла и, какъ мы видѣли, они приобрѣтаютъ общую скорость, которую назовемъ x . Мѣрою силы F можетъ служить какъ количество движенія сообщенное первому тѣлу, (то-есть измѣненіе его скорости помноженное на массу) такъ и количество движенія сообщенное второму тѣлу (время дѣйствія одинаково). Другими словами имѣемъ условіе: $m(v-x) = m'(x-v')$, откуда

$$x = \frac{mv + m'v'}{m + m'}.$$

Въ случаѣ *упругихъ* тѣлъ, явленіе не оканчивается въ моментъ когда тѣла приобрѣли общую скорость x . Обнаруживается сила упругости равная (предполагая тѣла совершенно упругими) по величинѣ силѣ F но противоположно направленная и измѣняющая скорость x перваго тѣла на нѣкоторую скорость y , скорость x втораго тѣла на нѣкоторую скорость y' . Какія должны быть эти скорости не трудно найти. Скорость y должна быть такова чтобы количество движенія $m(x-y)$ было мѣрою силы F (измѣряющейся съ другой стороны величиною $m(v-x)$) и слѣдовательно чтобы было исполнено условіе $m(x-y) = m(v-x)$. Отсюда $y = 2x - v$. Или, вставивъ предыдущую величину x , найдемъ

$$y = \frac{2mv' + (m - m')v}{m + m'}.$$

Подобнымъ образомъ найдемъ для втораго тѣла

$$y' = \frac{2mv - (m - m')v'}{m + m'}.$$

Не трудно доказать что въ случаѣ столкновения *неупругихъ* тѣлъ сумма кинетическихъ энергій той и другой ударяющихся массъ послѣ удара становится менше чѣмъ какова была до удара: часть энергій какъ бы утрачивается. Возьмемъ какой-либо частный примѣръ. Представимъ себѣ массу въ 20 килограммовъ движущуюся со скоростью 10 метровъ въ секунду и настигающую другую массу въ 30 килограммовъ, имѣющую скорость 5 метровъ. Сумма кинетическихъ энергій до удара будетъ

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{m'v'^2}{2},$$

гдѣ вмѣсто m и m' надо поставить 20 и 30, въ случаѣ если положимъ въ основаніе абсолютное измѣреніе силъ, или же

$$\frac{20}{9,8} \text{ и } \frac{30}{9,8} \left(\text{то-есть } \frac{P}{g} \right)$$

въ случаѣ если за единицу силы примемъ единицу вѣса. Воспользуемся первымъ приемомъ. Будемъ имѣть:

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{m'v'^2}{2} = \frac{20 \cdot 10^2}{2} + \frac{30 \cdot 5^2}{2} = 1375$$

Послѣ удара общая скорость x будетъ $\frac{mv + m'v'}{m + m'} = 7$. Слѣд.

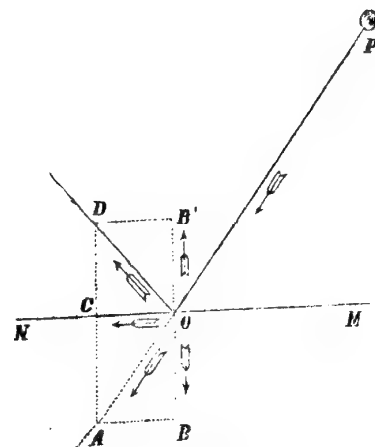
сумма кинетическихъ энергій $\frac{(m + m')x^2}{2} = 1225$. Видимъ что

кинетическая энергія $1375 - 1225 = 150$ утрачена. Эта потеря въ есть абсолютная. Потеренная энергія преобразуется въ другія явленія, главнымъ образомъ въ теплоту.

Обратимъ вниманіе на случай удара неупругихъ и упругихъ тѣлъ о неподвижную плоскость. Если неупругое тѣло ударяетъ о неподвижную плоскость по перпендикулярному направленію, то послѣ удара, претерпѣвъ измѣненіе формы, оно теряетъ все свое движеніе и остается на томъ мѣстѣ гдѣ ударилося. Если ударяющееся тѣло упругое, какъ напримѣръ шаръ слоновой кости, резиновый мячъ, то оно также претерпѣваетъ измѣненіе формы, изъ круглаго дѣлаясь сплюснутымъ. Такое измѣненіе формы можно обнаружить, если покроемъ плоскость легкимъ слоемъ масла или воска: шарикъ слоновой кости, ударившись о такую плоскость, оставляетъ слѣдъ въ видѣ дѣлаго пятна, доказывающаго, что тѣло во время удара касалось плоскости многими точками и, слѣдов., не имѣло формы шара; и это пятно тѣмъ болѣе, чѣмъ сильнѣе ударъ и, слѣдов., чѣмъ

значительнѣе измѣненіе формы. Но измѣненіе формы упругаго шара не сохраняется; сплюснутый шаръ возвращается къ прежней формѣ и при этомъ въ точкахъ прикосновенія шара съ плоскостью обнаруживается сила упругости, дѣйствующая снизу вверхъ и заставляющая шаръ отскочить отъ плоскости. Такимъ образомъ шаръ, упавшій вертикально съ опредѣленной высоты, послѣ удара о плоскость отражается назадъ по тому же направленію и достигаетъ приблизительно той же высоты, съ какой былъ пущенъ.

Допустимъ что упругій шаръ ударяетъ о плоскость подъ угломъ. Тогда дѣйствіе, которое онъ производитъ во время удара, можно разсматривать какъ силу дѣйствующую въ точкѣ O по направленію OA . Пусть линія OA изображаетъ величину этой силы. Разложимъ ее на двѣ: одну OC , параллельную плоскости, другую OB , перпендикулярную къ ней. Последняя



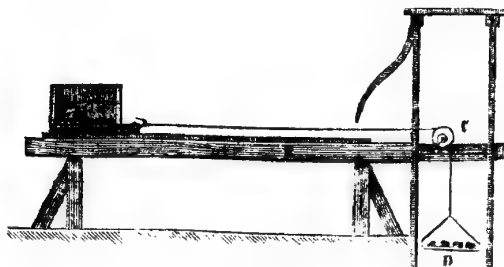
Фиг. 683.

прижимаетъ тѣло къ плоскости и производитъ измѣненіе формы; первая стремится перемѣщать тѣло по направленію OC . Еслибы тѣло было неупругое, то отъ дѣйствія первой силы тѣло претерпѣло бы измѣненіе формы, а отъ второй пришло бы въ движеніе вдоль плоскости. Но въ случаѣ упругаго тѣла, возста измѣненіемъ формы, слѣдуетъ дѣйствіе упругости, возвращающее прежнюю форму, такъ что тѣло опять становится подверженнымъ двумъ силамъ: одной, дѣйствующей по направленію OC , а другой OB' , дѣйствующей вертикально вверхъ и происходящей отъ упругости шара. Силы OC и OB' , сложаясь вмѣстѣ, произведутъ дѣйствіе по направленію діаго-

нали OD . Если тѣло вполне упругое, то должно допустить, что $OB=OB$. Слѣдов. угол $AOC=COD$. Но угол AOC равенъ углу MOP . Потому $MOP=COD$: *уголъ паденія равенъ углу отраженія*.

Когда одно тѣло, ударяя другое, сообщаетъ ему движеніе, то, какъ мы видѣли, ударяющее тѣло дѣйствуетъ вначалѣ на тѣ частицы, которыя непосредственно встрѣчаютъ и только по истеченіи нѣкотораго времени (впрочемъ, очень краткаго) движеніе сообщается цѣлому тѣлу. Если ударъ произошелъ такъ быстро, что первыя частицы, принявшія его дѣйствіе, приобрѣли значительную скорость прежде, чѣмъ движеніе успѣло сообщить всему тѣлу, то можетъ случиться, что онѣ совсѣмъ выйдутъ изъ круга дѣйствія окружающихъ частицъ и отдѣлятся отъ тѣла. Если ударить камнемъ въ дверь, свободно движущуюся на своихъ петляхъ, вся дверь придетъ въ движеніе, но если мы выстрѣлимъ въ нее пулю, пуля прошибетъ въ ней отверстіе, не сообщивъ движенія всей ея массѣ. Пуля можетъ прошибить въ стеклѣ круглое отверстіе, не сдѣлавъ трещины. Вообще, въ каждомъ случаѣ, когда одному тѣлу сообщается движеніе чрезъ посредство другаго, требуется нѣкоторое время для передачи дѣйствія всей его массѣ. Положивъ на столъ бумажку и на нее монету, можемъ выдернуть бумажку изъ-подъ монеты, не увлекая послѣдней, если только произведемъ это очень быстро.

§ 467. Законы тренія. Различаютъ треніе обнаруживающееся когда одно тѣло скользитъ по другому отъ сопротивленія какое испытываетъ *катящееся* тѣло. Это послѣднее называется иногда *трениемъ второго рода*. Сопротивленіе встрѣчаемое катящимся тѣломъ въ большинствѣ случаевъ значительно менѣе сопротивленія испытываемаго скользящимъ тѣломъ.



Фиг. 684.

Для изслѣдованія законовъ тренія въ случаѣ когда тѣло скользитъ по другому, Куломбъ употреблялъ снарядъ въ родѣ изображеннаго на фиг. 684.

Движущееся тѣло A состоитъ изъ ящика, въ который можно положить грузъ и такимъ образомъ измѣнять давленіе на плоскость по которой тѣло движется. Эта плоскость можетъ состоять или изъ одной широкой полосы, или изъ двухъ тонкихъ, расположенныхъ какъ рельсы. Грузъ D , соединенный съ тѣломъ A помощію нити, перекинутой чрезъ блокъ, приводитъ это тѣло въ движеніе.

Должно различать треніе *при началѣ движенія* и треніе *во время движенія*. Вѣсъ P платформы съ грузомъ, потребный для того, чтобы тѣло A двинулось съ мѣста, показываетъ величину тренія при началѣ движенія. Оно, какъ показалъ Куломбъ, пропорционально давленію тѣла на плоскость (т.-е. вѣсу тѣла A) и не зависитъ отъ величины поверхности прикосновенія. Отношеніе вѣса, π къ вѣсу самого тѣла называется *коэффициентомъ тренія при началѣ движенія*.

Обременивъ платформу такъ чтобы ея совокупный съ грузомъ вѣсъ p превышалъ вѣсъ π и тѣло слѣдовательно увлеклось ея паденіемъ, Куломбъ наблюдалъ пространство проходимое тѣломъ и нашелъ, что движеніе было равномерно-ускоренное. Отсюда слѣдуетъ, что сила, производящая движеніе въ этомъ случаѣ, есть сила постоянная. Но эта сила есть разность вѣса движущаго груза и величины тренія. Слѣдовательно, такъ какъ вѣсъ груза есть величина постоянная, величина тренія также должны быть постоянною. Итакъ:

Величина тренія остается постоянною во все время движенія и слѣдовательно не зависитъ отъ его скорости.

Далѣе, Куломбъ нашелъ, что во время движенія,

трение пропорционально давлению и не зависит от величины поверхности прикосновения трущихся тѣлъ.

Съ перваго взгляда кажется, что съ увеличеніемъ трущейся поверхности трение должно увеличиваться; на самомъ же дѣлѣ оно остается постояннымъ, ибо хотя при увеличеніи поверхности число точекъ прикосновения увеличивается, но давленіе въ каждой точкѣ становится меньше, ибо оно распределяется по болѣе значительной поверхности.

Сравнивая величину трения при началѣ, съ величиною трения во время движенія, можно замѣтить, что первое больше втораго.

Самую величину коэффициента трения во время движенія можно получить слѣдующимъ образомъ.

Пусть p есть вѣсъ платформы съ лежащимъ на ней грузомъ; F величина силы трения. Тогда $p - F$ будетъ величина силы производящей движеніе. Вѣсъ массы приводимой въ движеніе есть $P + p$, гдѣ P вѣсъ тѣла A .

Изучая законъ движенія, Куломбъ нашелъ, какъ уже сказано, что оно происходитъ по закону равномерно-ускореннаго движенія. Потому наблюдая внимательно какое-нибудь пространство s , пройденное въ продолженіе времени t , легко опредѣлить ускореніе G изъ формулы

$$s = \frac{Gt^2}{2}.$$

Зная ускореніе G , можемъ разсуждать такимъ образомъ. На массу, которой вѣсъ есть $P + p$ дѣйствуетъ сила $p - F$ и производитъ ускореніе G ; еслибы на ту же массу дѣйствовала сила, равная ея вѣсу, т.-е. $P + p$ (другими словами, еслибы эта масса падала свободно), то ускореніе было бы $g = 9,8$ метр. Но силы, дѣйствующія на одну и ту же массу, относятся между собою какъ ускоренія. Слѣдов.

$$\frac{p - F}{P + p} = \frac{G}{g} \text{ или } p - F = (P + p) \frac{G}{g}.$$

Изъ этого уравненія легко опредѣлить величину F , а слѣдовательно и величину коэффициента трения $f = \frac{F}{P}$.

Отношеніе трения къ давленію

	при началѣ движенія.	въ продолженіе движенія.
Дерево по дереву (безъ смазки) . . .	0,50 . . .	0,36
Дерево по дереву (смазанное саломъ) . . .	0,19 . . .	0,07
Дерево по металлу (безъ смазки) . . .	0,60 . . .	0,42
Дерево по металлу (смазанное саломъ) . . .	0,12 . . .	0,08
Металлъ по металлу	0,18 . . .	0,18

§ 468. Явленія прилипанія. Когда твердое тѣло прикасается къ жидкому, то между ихъ частицами въ большинствѣ случаевъ обнаруживается сцепленіе, называемое *прилипаніемъ*. Если опустимъ стеклянную палочку въ воду и вынемъ ее, то увидимъ, что вода пристала къ стеклу и облекаетъ нижній конецъ палочки въ формѣ капли. Вода смачиваетъ большинство тѣлъ за исключеніемъ нѣкоторыхъ смолистыхъ тѣлъ и тѣлъ покрытыхъ слоемъ жира или масла. Ртуть не смачиваетъ стекла, но легко смачиваетъ нѣкоторые металлы, — олово, свинецъ, цинкъ.

Опустивъ до соприкосновенія съ водою или съ другою какою жидкостію кружокъ изъ стекла, мрамора, металла, и т. п., привѣшенный къ чашкѣ вѣсовъ и удерживаемый въ горизонтальномъ положеніи, замѣтимъ, что вода прилипаетъ къ нижней поверхности кружка (фиг. 685), и надо употребить нѣкоторое усиліе, чтобъ оторвать дискъ отъ поверхности воды. О величинѣ этого усилія можно судить по вѣсу, который должно положить на другую чашку для того.

Фиг. 685.

чтобъ отдѣлить дискъ отъ поверхности. Такъ какъ при этомъ слой жидкости остается прилипшимъ на поверхности кружка, то можемъ заключить, что усиліе, оторвавшее дискъ, пошло на то, чтобъ отдѣлить этотъ слой воды отъ другихъ, подъ нимъ лежащихъ, и слѣдовательно вѣсъ, положенный на другую чашку, показываетъ величину сцепленія между самими частицами жидкости, а не

между частицами жидкости и твердаго тѣла. Это подтверждается тѣмъ, что сила, которую надо употребить, чтобъ оторвать дискъ отъ воды, остается одинаковою, изъ какого бы вещества онъ ни былъ, если только смачивается водою.

Если увеличимъ толстоту диска, то это не имѣетъ вліянія на величину отрывающей силы. Этотъ фактъ показываетъ, что дѣйствіе частичнаго притяженія обнаруживается только на чрезвычайно близкихъ расстояніяхъ. Еслибы притяженіе между дискомъ и водою не ограничивалось ближайшимъ къ диску тонкимъ слоемъ жидкости, то увеличеніе массы диска повлекло бы за собою увеличеніе притяженія, ибо увеличилось бы число частицъ притягивающихся взаимно. Но какъ этого не замѣчается, то мы заключаемъ, что второй слой жидкости притягивается только первымъ, притяженіе же самого диска до него не доходитъ. Въѣсть съ тѣмъ понятно что, въ случаѣ жидкости смачивающей тѣло, взаимное притяженіе между частицами самой жидкости должно быть меньше притяженія между частицами жидкости и твердаго тѣла; иначе дискъ не былъ бы въ состояніи отдѣлится отъ жидкости отъ удерживающей его остальной жидкой массы.

§ 469. Капиллярныя явленія. О явленіяхъ поднятія и пониженія жидкостей въ тонкихъ капиллярныхъ трубкахъ было уже говорено въ первомъ отдѣлѣ въ параграфахъ 45 и 48.

Прибавимъ, что разныя жидкости, смачивающія стекло, поднимаются въ капиллярной трубкѣ опредѣленнаго діаметра не до одинаковой высоты. Изъ опытовъ Гей-Люссака выводятъ, что въ трубкѣ одного миллиметра въ діаметрѣ

вода поднимается на.....	29,8	миллим.
спиртъ — —.....	12,2	
эфиръ — —.....	10,8	

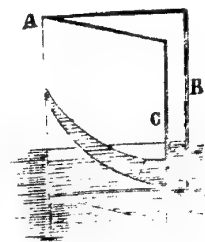
Для одной и той же жидкости высота, до которой она поднимается, *обратно пропорціональна діаметру трубки*. Такимъ образомъ, если въ трубкѣ, имѣющей миллиметръ въ діаметрѣ, вода поднимается до 30 миллим., то въ трубкѣ, въ два миллиметра въ діаметрѣ, высота поднятой колонны будетъ равняться 15 миллим., въ трубкѣ $\frac{1}{2}$ миллим., въ діаметрѣ вода поднимается до 60 миллим.

Пониженіе жидкости въ трубкѣ изъ вещества, которое оно не смачиваетъ, слѣдуетъ тому же закону.

Эти законы были оправданы точными опытами Гей-Люссака.

Если вмѣсто трубки мы опустимъ въ жидкость двѣ параллельныя между собою пластинки, то жидкость между ними, если разстояніе ихъ мало, будетъ также стоять выше или ниже общаго уровня жидкости въ сосудѣ, и притомъ повышеніе или пониженіе жидкости будетъ обратно пропорціонально разстоянію пластинокъ. Сравнивая высоту жидкости между двумя пластинками съ высотой колонны жидкости въ капиллярной трубкѣ, которой діаметръ равняется разстоянію пластинокъ между собою, находимъ что поднятіе или пониженіе жидкости въ капиллярной трубкѣ вдвое болѣе чѣмъ между пластинками.

Если опустить въ воду (которую обыкновенно подкрашиваютъ для того, чтобъ явленіе было рѣзче замѣтно) двѣ пластинки образующія между собою двухгранный уголъ съ вертикальнымъ ребромъ, то вода въ узкой части угла поднимается выше чѣмъ въ широкой, и ея вершина образуетъ кривую поверхность, какъ видно на фиг. 686. Кривая линія, какою вершина жидкой колонны ограничивается при каждой изъ пластинокъ, есть *гипербола*.



Фиг. 686.

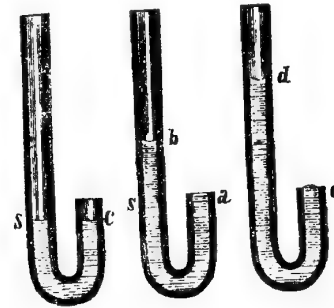
Явленія объясняются частичнымъ давленіемъ поверхностнаго слоя жидкости, представляющаго собою родъ упругой пленки облекающей жидкую массу, — давленіемъ величина котораго зависитъ отъ вида поверхности. Происхожденіе такого частичнаго давленія поверхностнаго слоя объясняется тѣмъ обстоя-

ятельствомъ что при поверхности жидкости до глубины равной радиусу частичнаго дѣйствія, каждая частица притягивается по направленію внутрь жидкости сильнѣе чѣмъ по направленію къ поверхности, ибо, ближе къ поверхности, надъ нею менѣе частицъ чѣмъ сколько требуется для наполненія сферы частичнаго дѣйствія. Частичное давленіе передается чрезъ жидкую массу по общимъ законамъ гидростатическаго давленія. Такимъ образомъ жидкость налитая въ сосудъ, давить внизъ, во-первыхъ вслѣдствіе своей тяжести, во-вторыхъ вслѣдствіе частичнаго давленія, происходящаго оттого что слой ограничивающій свободную поверхность давить на остальную массу жидкости. Теоретическій разборъ предмета убѣждаетъ что давленіе поверхностнаго слоя когда жидкость ограничена *выпуклою* поверхностью *болѣе* нежели въ случаѣ когда она ограничена *плоскостію*. Въ свою очередь давленіе въ случаѣ *плоскости болѣе*, чѣмъ въ случаѣ *вогнутой* поверхности.

Слѣдующіе опыты подтверждаютъ сказанное. Сдѣлаемъ узкое колѣно согнутой трубки короче широкаго. Тогда, наливая воду черезъ широкое колѣно, замѣтимъ, что она въ узкомъ колѣнѣ, пока еще не дошла до конца трубки, стоитъ выше и оканчивается *вогнутою* поверхностью. Прибавляя жидкости въ широкое колѣно, можемъ довести вершину узкаго столба жидкости до самаго конца трубки. Продолжая приливать, замѣтимъ, что будетъ моментъ, когда поверхность жидкости въ узкой трубкѣ сдѣлается *горизонтальною*. Тогда уровень жидкости будетъ одинаковый въ обоихъ колѣнахъ. Прибавляя еще жидкости, замѣтимъ что поверхность при концѣ узкой трубки вздуется и будетъ оканчиваться *выпуклостію*. Въ это время высота столба, заключающагося въ широкомъ колѣнѣ, будетъ выше чѣмъ въ узкомъ. Если прильемъ слишкомъ много во-

ды, она въ узкомъ колѣнѣ перелется наконецъ чрезъ край.

Отношеніе между давленіемъ и видомъ поверхности еще подробнѣе можно прослѣдить, если оба колѣна капиллярныя одного діаметра. Высота воды одинакова въ обоихъ колѣнахъ, пока она оканчивается въ обоихъ *вогнутою* поверхностью (фиг. 687). Когда чрезъ прилитіе



Фиг. 687. Фиг. 688. Фиг. 689.

жидкости поверхность въ короткомъ колѣнѣ сдѣлается плоскою, то въ длинномъ, гдѣ жидкость по прежнему оканчивается *вогнутымъ* менискомъ, она стоитъ выше (фиг. 688). Разность высотъ еще значительнѣе, когда короткое колѣно оканчивается *выпуклою* поверхностью (фиг. 689). Такимъ образомъ столбъ, оканчивающійся *плоскостію*, можетъ уравниваться болѣе длинный столбъ, оканчивающійся *выпуклымъ* менискомъ; можетъ уравниваться еще болѣе длинный столбъ, оканчивающійся *вогнутостію*.

Помѣстивъ между двумя стеблянными пластинками расположенными наклонно одна къ другой, каплю жидкости такъ, чтобъ она касалась обѣихъ пластинокъ, замѣчаютъ слѣдующее явленіе. Если жидкость, какъ вода, смачиваетъ стекло, то капля, принявъ при краяхъ своихъ *вогнутую* поверхность (фиг. 690) дви-

жется приближаясь къ вершинѣ угла, образованнаго пластинками. Въ случаѣ ртути капля принимаетъ при краяхъ *выпуклую* поверхность (фиг. 691) и удаляется отъ вершины угла.



Фиг. 690.

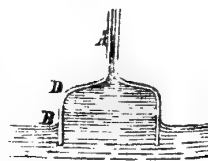


Фиг. 691.

Эти явленія можно объяснить, обративъ вниманіе на форму поверхностей какими ограничивается капля, и принявъ въ соображеніе связь какая существуетъ между формою поверхности и давленіемъ. Менискъ, какимъ оканчивается капля воды со стороны вершины угла, имѣетъ болѣе вогнутую поверхность, чѣмъ менискъ, образованный въ широкомъ отверстіи угла. Поверхность послѣдняго по виду своему ближе слѣдуетъ къ плоскости, чѣмъ поверхность перваго; а въ предыдущихъ опытахъ мы видѣли, что давленіе съ той стороны жидкой массы, гдѣ она оканчивается плоскостію аначительнѣе, чѣмъ съ той гдѣ она оканчивается вогнутостію. Въ случаѣ капли ртути, выпуклость значительнѣе со стороны вершины угла; съ этой стороны и замѣчается преобладающее давленіе которое заставляетъ каплю удаляться отъ вершины угла.

Подобныя же явленія можно замѣтить въ трубкахъ конической формы.

Въ широкой трубкѣ съ капиллярнымъ окончаніемъ жидкость поднимается (фиг. 692) или опускается точно также какъ въ трубкѣ, имѣющей на всемъ своемъ протяженіи узкій діаметръ. Этотъ

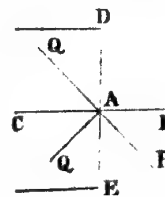


Фиг. 692.

опытъ подтверждаетъ, что поднітіе или пониженіе жидкости въ трубкѣ зависитъ исключительно отъ крайняго слоя этой жидкости, ограниченнаго вогнутою поверхностію въ случаѣ поднітія, и выпуклою въ случаѣ пониженія.

Такимъ образомъ *частичное* давленіе объясняется почему въ капиллярной трубкѣ жидкость ограниченная, какъ вода, *возмущенною* поверхностію стоитъ *выше*, а жидкость ограниченная какъ ртуть, *выпуклою* поверхностію *ниже* чѣмъ въ сосудѣ гдѣ она плоская. Но возникаетъ вопросъ, почему жидкость смачивающая стекло или иное тѣло имѣетъ въ трубкѣ изъ этого тѣла вогнутую, жидкость же не смачивающая — выпуклую поверхность. Это, какъ видно изъ слѣдующихъ разсужденій, объясняется разною степенью притяженія частицъ жидкости между собою и съ частицами тѣла, изъ котораго состоитъ трубка.

Пусть *DE* представляетъ твердую стѣну, касающуюся жидкости *BAE*. Частица *A* жидкости, помѣщенная при пересѣченіи двухъ поверхностей, испытываетъ вопервыхъ притяженіе части жидкости *BAE*. Это притяженіе приводится къ одной равнодѣйствующей *P*, направленной по линіи, раздѣляющей уголъ *BAE* пополамъ. Съ другой стороны частица *A* притягивается частями *CAD*, *CAE* твердаго тѣла. Это притяженіе приводится къ двумъ равнымъ силамъ *Q*, наклоненнымъ къ линіи *CA* подъ угломъ 45° . Каждую изъ силъ *Q* и *P* разложимъ на двѣ: одну — направленную по горизонтальной, другую — по вертикальной линіи. Одна изъ силъ *Q* даетъ вертикальную слагающую, дѣйствующую по *AD* вверхъ, другая — слагающую, дѣйствующую по *AE* внизъ; двѣ эти слагающія, такъ какъ онѣ равны между собою, уничтожаются взаимно. Сила *P* даетъ вертикальную слагающую *P*, $\cos 45^\circ$, дѣйствующую по *AE* внизъ. Далѣе — каждая изъ силъ *Q* даетъ горизонтальную слагающую $Q \cdot \cos 45^\circ$, дѣйствующую по *AC*; двѣ эти слагающія вмѣстѣ дадутъ силу $2Q \cdot \cos 45^\circ$, дѣйствующую по *AC*. Сила *P* даетъ горизонтальную слагающую *P*, $\cos 45^\circ$, дѣйствующую по *AB*.

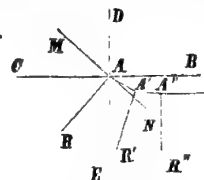


Фиг. 693.

Такимъ образомъ дѣйствіи трехъ силъ: *Q*, *Q* и *P*, приводится къ вертикальной силѣ *P*, $\cos 45^\circ$, дѣйствующей внизъ по *AE* и горизонтальной $(2Q - P) \cdot \cos 45^\circ$, которой направленіе будетъ зависетьъ отъ сравнительной величины *P* и *Q*. Тутъ могутъ встрѣтиться три случая, такъ какъ частичное притяженіе въ случаѣ различныхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ, находящихся въ прикосновеніи, имѣетъ различное напряженіе. Можетъ быть

$$2Q - P > 0; \quad 2Q - P = 0, \quad 2Q - P < 0.$$

1) Если $2Q - P > 0$, частица A будет подвержена действию двух сил, одной по направлению AE , другой по AC . Они да-

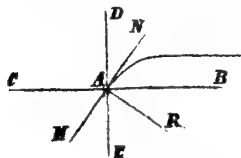


Фиг. 694.

дутъ одну равнодѣйствующую AR , помѣщенную въ уголъ CAE (фиг. 694). Такъ какъ поверхность равновѣсія жидкости всегда перпендикулярна къ направлению силъ, дѣйствующихъ на ея частицы, то она будетъ касательна къ плоскости MN , перпендикулярной къ AR . Слѣд. поверхность жидкости при стѣнкѣ не будетъ горизонтальна: она встрѣтитъ твердую стѣнку, дѣлая съ ней уголъ DAN , который будетъ имѣть постоянную величину для тѣхъ же веществъ и который можно назвать *уголъ прикосновения*. Частицы жидкости A' , A'' , далѣе удаленные отъ твердаго тѣла, будутъ испытывать дѣйствія болѣе слабыя, и силы R' , R'' , дѣйствующія на нихъ, будутъ приближаться къ вертикальному направлению. Такимъ образомъ поверхность равновѣсія будетъ кривою и сдѣлается горизонтальною на некоторомъ разстояніи отъ DE . Легко понять, что если вторая вертикальная стѣнка будетъ помѣщена противъ первой, то поверхность, какою оканчивается жидкость приметъ форму вогнутой цилиндрической поверхности, если эти стѣнки достаточно сближены между собою. Въ трубкѣ эта поверхность будетъ поверхностью вращения около оси трубки, и ее можно принять за сферическую.

2) Когда $2Q - P = 0$, то общая равнодѣйствующая будетъ вертикальна, жидкость останется горизонтальною въ мѣстѣ прикосновения къ твердой стѣнкой, уголъ прикосновения будетъ равняться 90° .

3) Если $2Q - P$ менѣе нуля, то равнодѣйствующая R найдетъся чрезъ сложение двухъ силъ, направленныхъ по AB и AE



Фиг. 695.

цилиндрическую между двумя параллельными стѣнками и въ выпуклый шаровой сегментъ въ капиллярной трубкѣ.

Къ этому разсужденію (заимствованному нами изъ *Физики Жюмента*) присоединимъ, что если $P = Q$ и слѣдовательно частицы стѣнки оказываютъ на частицы жидкости протяженіе равное тому, какое существуетъ между частицами самой жидкости, то $2Q$ будетъ болѣе P , и слѣд. поверхность будетъ вогнутою. Когда дѣлаются опыты надъ поднятіемъ воды въ капиллярной

стѣнкой, то обыкновенно предварительно смачиваютъ стѣнки водою (всасывая, напримѣръ, эту жидкость ртомъ); вода смачивая стекло, облекаетъ внутреннюю поверхность трубки тонкимъ слоемъ. Потому поднятіе воды происходитъ такъ, какъ еслибы самыя стѣнки трубки состояли изъ воды. Если трубка, опускаемая въ воду, не смочена предварительно то она должна быть совершенно чиста для того, чтобы образовалась правильная вогнутая поверхность. Обыкновенно явленіе обнаруживается неправильнымъ образомъ, уголъ прикосновения бываетъ неодинаковымъ на всемъ контурѣ трубки. Это подтверждаетъ положеніе теоріи, что видъ поверхности зависитъ отъ слоя жидкости ближайшаго къ стѣнкѣ.

§ 470. Смѣшеніе жидкостей между собою. Явленія Эндосмоса. Взаимнымъ притяженіемъ частицъ двухъ разнородныхъ жидкостей объясняется ихъ смѣшеніе или *диффузія*. Такъ, слой спирта осторожно налитый поверхъ слоя воды постепенно смѣшивается съ водою проникая внизъ тогда какъ вода проникаетъ вверхъ до тѣхъ поръ пока образуется однородный растворъ. Напротивъ того масло, эфиръ не смѣшиваются съ водою. Если между двумя жидкостями способными смѣшиваться помѣстить скважистую перегородку, то явленіе диффузіи происходитъ иначе чѣмъ въ случаѣ когда нѣтъ перегородки, и объемъ жидкости переходящей въ одну сторону обыкновенно значительно разнится отъ объема переходящей въ другую, что зависитъ отъ разноты притяженія между перегородкою и тою и другою жидкостію. Такимъ образомъ, если спиртъ и вода раздѣлены каучуковою перегородкою, то болѣе переходитъ спирта къ водѣ чѣмъ воды къ спирту; напротивъ того если перегородка сдѣлана изъ животного пузыря, то болѣе переходитъ воды къ спирту чѣмъ наоборотъ (каучукъ смачивается спиртомъ и слабо смачивается водою, пузырь менѣе смачивается спиртомъ чѣмъ водою). Въ случаѣ солянаго раствора отдѣленного животною перегородкою отъ воды, вода просачивается въ значительномъ количествѣ въ растворъ. Такъ если наполнить трубку, за-

вязавъ ея нижнее отверстіе пузыремъ, растворомъ купороса и опустить въ чистую воду, то чрезъ нѣсколько времени вода внутри трубки будетъ стоять значительно выше чѣмъ внѣ: вода просочится въ большомъ количествѣ чрезъ перегородку. Дютроше (французскій ученый) открывшій эти явленія, играющія важную роль въ процессы питанія растений и животныхъ, наименовалъ ихъ явленіями *эндосмоса* и *экзосмоса* (понимая подъ первымъ словомъ приращеніе, подъ вторымъ убыль раздѣленныхъ перегородкою жидкостей).

§ 471. Частичныя силы въ твердомъ, жидкомъ и газообразномъ состояніяхъ тѣлъ. Разсматривая всякое тѣло какъ совокупность частицъ взаимодействующихъ, мы должны допустить, что въ *твердомъ* тѣлѣ каждая частица удерживается дѣйствіемъ окружающихъ въ определенномъ положеніи равновѣсія. Потому, говоритъ Клаузіусъ, въ *твердомъ* тѣлѣ движеніе частицъ таково, „что они движутся около опредѣленныхъ положеній равновѣсія, ихъ окончательно не оставляя, если нѣтъ стороннихъ дѣйствующихъ силъ. Движеніе частицъ твердаго тѣла можно слѣдовательно разсматривать какъ движеніе дрожательное. Но оно можетъ быть весьма сложно. Во-первыхъ могутъ дрожать сами по себѣ составныя части отдѣльной частицы, во-вторыхъ цѣлыя частицы какъ таковыя. Послѣднія колебанія могутъ опять состоять изъ движенія взадъ и впередъ центра тяжести частицы, или изъ вращательныхъ колебаній около центра тяжести. Въ тѣхъ случаяхъ когда дѣйствуютъ внѣшнія силы на тѣло, какъ напримѣръ при сотрясеніи, частицы могутъ перемѣститься въ новыя положенія равновѣсія, въ которыхъ и остаться.

„Въ жидкихъ тѣлахъ частицы не имѣютъ опредѣленныхъ положеній равновѣсія. Онѣ могутъ дѣлать

полныя обращенія около центра тяжести, а также совсѣмъ оставить данное положеніе и перейти въ другое мѣсто. Но гонящее дѣйствіе движенія, сравнительно съ взаимнымъ притяженіемъ частицъ, не довольно сильно чтобы совсѣмъ разъединить частицы между собою. И хотя частица не связана съ опредѣленными сосѣдними частицами, однако останяетъ ихъ не сама собою, но подѣ дѣйствіемъ силъ исходящихъ отъ другихъ частицъ, по отношенію къ которымъ приходитъ въ то же положеніе, въ какомъ была по отношенію къ своимъ прежнимъ сосѣднимъ частицамъ. Такимъ образомъ въ жидкости бываетъ качательное, катательное, поступательное движеніе, но такъ что частицы чрезъ это не разъединяются и даже безъ внѣшняго давленія сохраняются въ опредѣленномъ объемѣ.

„Наконецъ, въ газообразномъ состояніи, частицы, вслѣдствіе движенія, совершенно выходятъ изъ сферы взаимнаго притяженія и летятъ, по обыкновеннымъ законамъ движенія, прямолинейно. Когда двѣ такія частицы столкнутся въ своемъ движеніи, то съ тою же стремительностію отлетаютъ одна отъ другой съ какой сошлись, что тѣмъ легче можетъ произойти, что частица отдѣльною другою частицею притягивается съ гораздо меньшею силою, чѣмъ цѣлою совокупностію частицъ, находящихся въ ея сосѣдствѣ, въ случаѣ жидкаго или твердаго состоянія.“

При такомъ воззрѣніи, давленіе газа на ограничивающія его стѣнки должно быть разсматриваемо какъ результатъ толчковъ или ударовъ оказываемыхъ на стѣнки летящими частицами газа. Величина его должна зависѣть отъ энергіи движенія ударяющихъ частицъ.

§ 472. Связь между объемомъ, давленіемъ и температурою въ газообразныхъ тѣлахъ. Вопросы относящіеся къ газообразнымъ тѣламъ разрѣшаются

главнымъ образомъ на основаніи законовъ Мариотта (§ 102) и Гей-Люссака (§ 171), выражающихъ связь между давленіемъ, объемомъ и температурою данной массы газа. Пусть, напримѣръ, вѣсъ разсматриваемаго количества газа есть p , объемъ v , температура t° . Чтобы вывести формулу выражающую связь между этими величинами обратимся къ вопросу разрѣшенному уже въ § 172, именно выразимъ вѣсъ объема v воздуха, при температурѣ t° и давленіи H , зная что куб. метръ воздуха при 0° и давленіи 760 миллим. вѣситъ 1,293 килограмма. По закону Мариотта кубическій метръ воздуха при давленіи H долженъ во столько разъ вѣсить болѣе или меньше 1,293 килограммовъ, во сколько H болѣе или меньше 760 миллиметровъ. Вѣсъ этотъ будетъ слѣдовательно $1,293 \cdot \frac{H}{760}$ килограммовъ. Это количество воздуха при 0° занимаетъ объемъ равный одному куб. метру; при t° оно займетъ объемъ $1 + at$ гдѣ $a = \frac{1}{273}$ коэффициентъ расширенія воздуха. Если $1 + at$ кубическихъ метровъ вѣсятъ $1,293 \cdot \frac{H}{760}$ килограммовъ, то одинъ куб. метръ долженъ вѣсить въ $1 + at$ разъ меньше, то-есть

$$1,293^t \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1 + at} \cdot$$

Чтобы получить вѣсъ объема v при нашихъ условіяхъ, должно эту величину помножить на v .
Получимъ

$$1,293^t \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1 + at} v \dots (1)$$

Еслибы вопросъ шелъ не о воздухѣ а о другомъ какомъ-либо газѣ, то мы получили бы тоже выраженіе (предполагая что газъ одинаково съ воздухомъ подчиняется законамъ Мариотта и Гей-Люссака) только вмѣсто 1,293 кил. должно было бы поставить вѣсъ разсматриваемаго газа при 0° и 760 милл. давленія. Въ случаѣ, напримѣръ, водорода это было бы, 0,0896, и формула выразилась бы такъ

$$0,0896^t \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1 + at} \cdot v \dots (2)$$

Раздѣливъ выраженіе (2) на (1) найдемъ отношеніе вѣса водорода къ вѣсу равнаго объема воздуха *этого при томъ же давленіи и той же температурѣ*. Видимъ что отношеніе это, которое назовемъ буквою d , есть величина *постоянная* для данного газа (слѣдующаго упомянутымъ законамъ), независящая отъ давленія и температуры. Оно называется *плотностію* газа сравнительно съ воздухомъ. Если плотность d извѣстна, то помноживъ 1,293 килогр. на d , получимъ вѣсъ куб. метра разсматриваемаго газа при 0° и 760 миллиметр. давленія. Вѣсъ p объема v этого газа будетъ слѣдов.

$$p = 1,293 \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1 + at} \cdot v \cdot d \dots (3)$$

Приведемъ плотности нѣкоторыхъ изъ газообразныхъ тѣлъ.

Кислородъ	1,4083
Водородъ	0,0693
Азотъ	0,9698
Хлоръ	2,4563
Аммоніакъ	0,5887
Углекислота	1,5239

Если *та же* масса данного газа приведена къ другому давленію H' , другой температурѣ t' и занима-

еть потому другой объемъ v' , то формула выражающая ся вѣсь будетъ

$$p = 1,293 \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot v' \cdot d \dots (4)$$

Приравнявъ выражения (3) и (4) и сокративъ общіе множители, будемъ имѣть

$$\frac{H \cdot v}{1 + \alpha t} = \frac{H' \cdot v'}{1 + \alpha t'}$$

Эта формула обозначаетъ: при какихъ бы условіяхъ давленія и температуры ни находилась данная масса газа, всегда произведение его давленія на объемъ дѣльное на биномъ расширенія есть величина постоянная.

Если $t=t'$, то-есть измѣняемъ давленіе, не измѣняя температуры, то имѣемъ $H \cdot V = H' \cdot V'$ законъ Мариотта.

Предыдущія формулы прилагаются и къ случаю паровъ. Пусть f есть упругость пара ненасыщающаго пространство. Паръ ненасыщающій пространство приблизительно слѣдуетъ законамъ Мариотта и Гей-Люссака, и слѣд. вѣсь его π при объемѣ v будетъ

$$\pi = 1,283 \cdot \frac{f}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot v \cdot d \dots (5)$$

гдѣ d плотность пара.

Различіе въ приложеніи этой формулы сравнительно съ формулою (3) въ томъ, что въ формулѣ (3) мы можемъ полагать для H произвольную величину (по крайней мѣрѣ пока газъ далекъ отъ состоянія при которомъ становится паромъ и можетъ быть обращенъ въ жидкость), тогда какъ въ формулѣ (5) f имѣетъ предѣлъ F соответствующій насыщенію

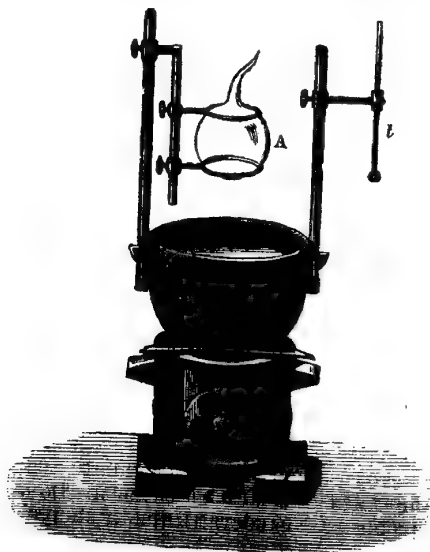
(максимумъ упругости при данной температурѣ). Такъ, при 20° водяной паръ не можетъ имѣть упругость болѣе 17,4 миллим. Когда онъ достигнетъ этой упругости, то становится насыщающимъ пространство и при дальнѣйшемъ сжатіи обращается въ воду, сохраняя въ необращенной еще въ жидкость части упругость $F = 17,4$ миллиметра. Потому нельзя, напримѣръ, спрашивать какой вѣсь даннаго объема пара при 20° и давленіи цѣлой атмосферы. Чтобы водяной паръ могъ имѣть упругость равную нормальному давленію атмосферы, онъ долженъ быть по крайней мѣрѣ при 100° .

§ 473. Опредѣленіе плотности пара различныхъ тѣлъ. Плотность пара какъ и плотность газа есть отношеніе вѣса даннаго объема пара къ вѣсу равнаго объема воздуха взятаго при томъ же давленіи и той же температурѣ. Плотность эта должна быть величиною постоянною, если паръ слѣдуетъ тѣмъ же законамъ сжатія и расширенія какъ воздухъ (для водянаго пара это приблизительно вѣрно въ предѣлахъ среднихъ температуръ).

Относительно метода опредѣленія плотности паровъ помошью опыта ограничимся указаніемъ способа Дюма, приложеннаго къ разнообразнымъ жидкостямъ при температурахъ выше точки ихъ кипѣнія.

Исследуемое вещество вводится въ небольшой баллонъ, оканчивающійся тонкимъ отверстіемъ. Баллонъ погружается въ котелокъ (фиг. 696) съ масломъ или вообще жидкостью которой точка кипѣнія значительно выше точки кипѣнія исследуемаго вещества. Котелъ нагревается до температуры значительно превышающей температуру кипѣнія исследуемаго вещества. Оно прихвѣтываетъ въ кипѣніе и изъ отверстия идетъ замѣтная струя пара, выгоняющая воздухъ и продолжающая выходить пока въ баллонѣ есть избытокъ вещества по обратившейся еще въ паръ. Какъ скоро все вещество обратилось въ паръ, струя вдругъ прекращается. Баллонъ наполненъ слѣдов. паромъ при температурѣ выше точки кипѣнія вещества и съ упругостью равную давленію атмосферы въ моментъ опыта (упругость эта менѣе максимумъ: паръ не насыщаетъ баллона. Кончикъ запаянной и обтертой баллонъ погружаютъ на чашку вѣсовыхъ. Пусть онъ уравновѣсится грузомъ Q положеннымъ на другую чашку. Если назовемъ буквою q вѣсъ стеклянныхъ стѣнокъ баллона, π вѣсъ заключающагося въ немъ пара, q' вѣсъ вытѣснимаго баллономъ воздуха, то очевидно, будемъ имѣть $Q = \pi + q - q'$, откуда искомое $\pi = Q - q + q'$. Вѣсъ стѣнокъ q опредѣляется предварительнымъ взвѣшиваніемъ баллона, когда онъ

быть еще наполненъ воздухомъ. Пусть баллонъ въ этомъ состояніи будучи положенъ на одну чашку вѣсовъ, уравнивается нѣкоторымъ грузомъ, положеннымъ на другую. Тогда на первую чашку давить вѣсъ стекла плюсъ вѣсъ внутреннего воздуха ми-



Фиг. 696.

нуса вѣсъ вытѣсняемаго воздуха. Такъ какъ вѣсъ внутреннего воздуха (пренебрегая толщиной стеклянной оболочки) можно считать равнымъ вѣсу вытѣсняемаго, то вѣсъ q груза положеннаго на вторую чашку прямо выражаетъ вѣсъ стеклянныхъ стѣнокъ. Величину q' не трудно вычислить, если извѣстенъ внутренний объемъ баллона. Объемъ этотъ опредѣляютъ, обыкновенно, при окончаніи опыта. Отламываютъ кончикъ, опустивъ его подъ воду; баллонъ весь наполняется водою. Его взвѣшиваютъ и чрезъ то узнаютъ вѣсъ наполняющей его воды. Зная вѣсъ этотъ, вычисляютъ соответствующій объемъ (объемъ этотъ нѣсколько увеличивается при возвышенной температурѣ котла; увеличение это можно принять въ расчетъ зная коэффициентъ расширенія вмѣстимости стекляннаго сосуда).

§ 474. Законъ Гей-Люссака относительно объема газовъ соединяющихся химически. Теоретическое опредѣленіе плотности пара. Гей-Люссакъ открылъ замѣчательный законъ химическаго соединенія газообразныхъ тѣлъ. Если два газа A и B , соединяясь между собою, образуютъ третье тѣло C могущее быть

приведено также въ газообразный видъ (такъ кислородъ соединяясь съ водородомъ даетъ воду, которая можетъ быть приведена въ состояние пара); то объемъ, какъ газовъ A и B , такъ и тѣла C въ газообразномъ состояніи, — въ случаѣ если всѣ три газообразныхъ тѣла находятся при одинаковой температурѣ и одинаковомъ давленіи, — находится между собою въ весьма простыхъ кратныхъ отношеніяхъ. Такимъ образомъ одинъ объемъ кислорода, соединяясь съ двумя объемами водорода, даетъ два объема водянаго пара при одинаковыхъ температурѣ и давленіи, (напримѣръ при 100° и давленіи атмосферы). Вообще m объемовъ газа A , соединяясь съ m' объемами газа B , даютъ M объемовъ сложнаго газа C , приче́мъ m , m' и M находятся между собою въ весьма простыхъ отношеніяхъ. Этотъ законъ позволяетъ теоретически опредѣлить плотность сложнаго газа C если известна плотность составныхъ его частей A и B и отношеніе объемовъ.

Дѣйствительно m объемовъ газа A имѣютъ вѣсъ

$$p = 1,293 \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1 + at} \cdot m \cdot v \cdot d = \epsilon \cdot m \cdot d,$$

гдѣ для краткости буквою ϵ назовемъ совокупность остальныхъ, множителей кромѣ m и d . Вѣсъ p' газа B будетъ

$$p' = \epsilon \cdot m' d'.$$

Вѣсъ P сложнаго газа C будетъ $P = \epsilon \cdot M \cdot x$ гдѣ x искомая плотность газа C .

Но $P = p + p'$ слѣд. $Mx = md + m'd'$ откуда

$$x = \frac{md + m'd'}{M}$$

Въ случаѣ воды одинъ объемъ кислорода соединяясь съ двумя объемами водорода, даетъ (по приведеніи къ одинакимъ давленію и температурѣ) два объема водянаго пара. Следовательно въ этомъ случаѣ $m=1$, $d=1,1083$; $m'=2$, $d'=0,0693$; $M=2$. Получаемъ $x=0,622$. Въ случаѣ аммоніака образующагося изъ соединенія трехъ объемовъ водорода съ однимъ азота, приче́мъ получается два объема аммоніака, $m=3$, $d=0,0693$; $m'=1$, $d'=0,9698$, $M=2$. Получимъ $x=0,5888$.

§ 475. Смѣшеніе между собою газовъ не дѣйствующихъ непосредственно химически одинъ на другой. Представимъ себѣ два сообщающіяся между собою пространства, одно надъ другимъ, и пусть нижнее наполнено однимъ, верхнее другимъ газомъ. Изъ нихъ болѣе тяжелый (наприм. углекислота) пусть находится въ нижнемъ пространствѣ; болѣе легкій (наприм.

въ газахъ соотвѣтствующее данной температурѣ давленіе устанавливается медленно, тогда какъ въ пустотѣ оно достигается весьма быстро.

Такимъ образомъ, чтобы выразить вѣсъ объема V воздуха насыщеннаго водянымъ газомъ при температурѣ t° и оказывающаго барометрическое давленіе H , мы должны разсматривать этотъ воздухъ какъ совмѣщеніе въ объемѣ V объема V пара,—насыщающаго пространство и имѣющаго упругость F , соотвѣтствующую насыщенію при t° ,—съ объемомъ V сухаго воздуха, имѣющаго упругость $H-F$ (дабы общая упругость была $F+H-F=H$).

Вѣсъ смѣси, то-есть искомый вѣсъ π сыраго воздуха будетъ равенъ суммѣ вѣсовъ смѣшанныхъ массъ сухаго воздуха и пара.

$$\pi = 1,293^t \cdot \frac{H-F}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot V + 1,293^t \cdot \frac{F}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot V.d$$

гдѣ $d=0,622=\frac{1}{8}$ есть плотность водянаго пара.
Или

$$\pi = 1,293^t \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot V \left(\frac{H-F+\frac{1}{8}F}{760} \right) =$$

$$1,293^t \cdot \frac{H-\frac{7}{8}F}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot V$$

Если паръ не насыщаетъ пространства, то вмѣсто F надо поставить f , то-есть дѣйствительную упругость какую имѣетъ паръ.

Выведенная формула имѣетъ приложение къ опредѣленію потери вѣса испытываемой въ воздухѣ тѣломъ имѣющимъ объемъ V . На эту потерю при точныхъ взвѣшиваніяхъ должно быть обращено вниманіе.

Такъ какъ вѣсъ π пара насыщающаго объемъ V воздуха выражается формулою

$$\pi = 1,293^t \cdot \frac{F}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot V.d;$$

вѣсъ же π' заключающагося въ такомъ же объемѣ ненасыщающаго воздуха пара, имѣющаго упругость f , формулою

$$\pi' = 1,293^t \cdot \frac{f}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot V.d$$

то отношеніе $\frac{\pi'}{\pi}$ называемое (§ 205) *влажностію* воздуха будетъ

$$\frac{\pi'}{\pi} = \frac{f}{F}.$$

При опредѣленіи влажности можно, слѣдовательно, съ одинаковымъ результатомъ разсматривать отношеніе количествъ пара или отношеніе упругостей (сравни §§ 207 и 196).

Если назовемъ влажность буквою e , то f въ предыдущихъ формулахъ можно замѣнить величиною eF , гдѣ F упругость насыщенія.

§ 477. Теорія психрометра. (См. § 206). Согласно изслѣдованіямъ Дальтона, количество воды испаряющейся въ воздухѣ съ данной поверхности S въ данное время, зависитъ отъ степени сухости этого воздуха и пропорціонально разности упругости пара способнаго насытить этотъ воздухъ при температурѣ опыта безъ упругости въ немъ дѣйствительно находящейся, то-есть величинѣ $F-f$ (чѣмъ эта разность меньше, то-есть чѣмъ ближе воздухъ къ состоянію насыщенія тѣмъ слѣдовательно меньше количество испаренія; оно наибольшее въ сухомъ воздухѣ, когда $f=0$). Съ другой стороны количество это тѣмъ значительнѣе чѣмъ меньше давленіе воздуха замедляющее испареніе, вообще обратно пропорціонально давленію воздуха H . Оно можетъ быть выражено слѣдовательно формулою $C(F-f).S$, гдѣ C нѣкоторый постоянный коэффициентъ.

Мокрый термометръ психрометра пріобрѣтаетъ температуру t' меньшую температуры t воздуха, потому что на поверхности S его шарика происходитъ испареніе воды, и теплота со-общаемая шарика воздуху и окружающими предметами, имѣ-сто того чтобы нагрѣть его до t° поглощается образующимся паромъ. Такъ какъ, по предыдущему, количество образующа-гося пара пропорціонально величинѣ $\frac{(F-f)S}{H}$, то этой же ве-

личинѣ должно быть пропорціонально и количество доставляе-мой шарика теплоты. Оно можетъ быть слѣдов. выражено фор-мулою $\frac{B(F-f).S}{H}$, гдѣ B коэффициентъ. Съ другой стороны,

по закону охлажденія и нагрѣванія Ньютона (§ 434) шарикъ пріобрѣтаетъ отъ воздуха и окружающихъ предметовъ количе-ство теплоты пропорціональное избытку температуры воздуха и предметовъ надъ его температурою, количество которое мо-жно выразить формулою $D(t-t').S$, гдѣ D постоянный коэффи-циентъ. Приравнявая два полученныхъ выраженія, будемъ имѣть

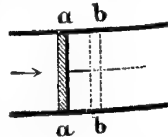
$$D(t-t').S = \frac{B(F-f).S}{H} \quad \text{или}$$

величина. Такая кривая кривая есть *гипербола*. При другой температурѣ имѣли бы другую гиперболу и могли бы построить цѣлый ряд изотермныхъ кривыхъ.

Не трудно показать что на чертежѣ изображающемъ связь между давленіемъ и объемомъ данной массы газа изображается вмѣстѣ съ тѣмъ величина работы производимой расширяющимся газомъ или потребляемой газомъ сжимаемымъ. Дѣйствительно, представимъ себѣ что данная масса газа заключена въ некоторомъ цилиндрѣ (фиг. 698) и давить на поршень *aa*. Пусть газъ оказываетъ на каждую единицу поверхности давленіе *p*, а слѣд. на поршень *aa* если его площадь есть *ω*, давленіе *p.ω*. Когда поршень передвинутъ газомъ на малое протяженіе *ab=h*, то работа имъ произведенная выразится величиною *p.ω.h* ибо на маломъ протяженіи *h* можно величину *p* считать неизмѣнявшеюся замѣтно. Но *ω.h* есть приращеніе объема газа, которое назовемъ Δv . Слѣдов. элементарная работа на маломъ протяженіи *h* будетъ *p.Δv*.

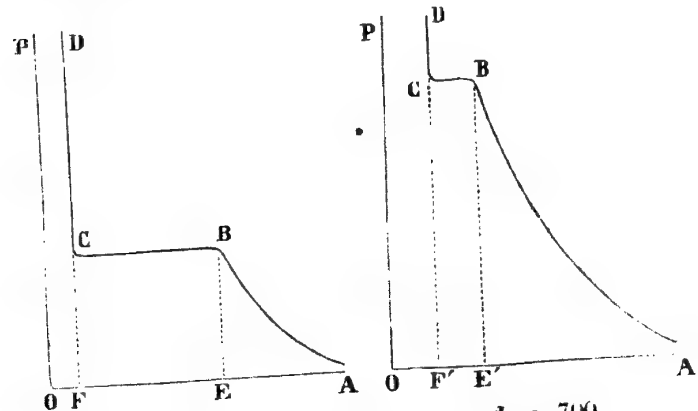
Подобнымъ образомъ на фиг. 697 величину элементарной работы газа при расширеніи отъ объема *OA* до объема *Ob* (когда объемъ получит приращеніе $\Delta v = \Delta a$) можно разсматривать какъ площадь элементарной полоски *ABca*. Элементарная работа производимая газомъ на маломъ протяженіи начиная съ момента когда его объемъ есть *Om*, давленіе *mn*, — выразится элементарною полоскою *mm'n'm'*. Такъ какъ изъ подобныхъ полосокъ слагается вся площадь, *ABCD* то заключаемъ что полная работа газа, при расширеніи отъ *OA* до *OD* выразится величиною площади.

§ 480. Явленія сопровождающія сжатіе, при разныхъ температурахъ, газообразныхъ тѣлъ способныхъ обращаться въ жидкости. Любопытно изслѣдованіе изотермныхъ линій въ случаѣ газообразныхъ тѣлъ, способныхъ обращаться въ парообразное и жидкое состояніе (таковы, напримѣръ, углекислота и пары изслѣдуемые начиная отъ того состоянія когда они не насыщаютъ пространства). Тѣла эти, пока не насытили пространства, приближительно, слѣдуютъ закону Маріотта. Представимъ себѣ килограммъ воды въ состояніи пара при 100° распространенный въ пространствѣ 50 кубическихъ метровъ. Такой паръ не насыщаетъ пространства. Не трудно найти что упругость его будетъ около 26 миллиметровъ. Станемъ уменьшать объемъ этого пара, то-есть сжимать его, сохраняя температуру 100°; и будемъ графически (фиг. 699) изображать давленія соответствующія уменьшающимся объемамъ. Тогда, пока паръ не насытитъ пространства (а насытитъ онъ его когда объемъ уменьшится до *OF=1,65* куб. метровъ), кривая *AB* будетъ мало отличаться отъ гиперболы требуемой закономъ Маріотта. Съ момента насыщенія, когда паръ приобретаетъ, со-



Фиг. 698.

образно температурѣ 100, упругость равную одной атмосферѣ, уменьшеніе объема не будетъ сопровождаться увеличеніемъ упругости или давленія; изотермная линія *BC* сдѣлается прямою горизонтальною линіею. Но при этомъ уменьшеніе объема будетъ сопровождаться обращеніемъ части пара въ жидкость. Такъ будетъ продолжаться пока весь паръ превратится въ воду, что наступитъ когда пространство занимаемое разсматриваемымъ веществомъ уменьшится до кубическаго дециметра съ небольшимъ и сдѣлается все наполненнымъ водою въ жидкомъ состояніи. Если бы мы продолжали уменьшеніе объема, то потребовалось бы огромное увеличеніе давленія, чтобы объемъ хотя немного уменьшился (такъ какъ жидкость суть тѣла очень трудно сжимаемыя). Изотермная линія *CD* сдѣлается почти вертикальною. Если бы температура была не 100° болѣе, напримѣръ, 200°, то первоначальное давленіе, соответствующее объему 50 куб. метровъ было бы нѣсколько болѣе чѣмъ въ первомъ случаѣ. Объемъ *ABOE'*, до какого надлежитъ довести сжимаемый паръ, пока онъ насытитъ занимаемое пространство, былъ бы значительно меньше чѣмъ объемъ *OE* въ первомъ случаѣ, ибо при высшей температурѣ требуется болѣе пара для насыщенія данного пространства чѣмъ при низшей. По этому насыщенія данного пространства *AB* соответствующая газообразно-

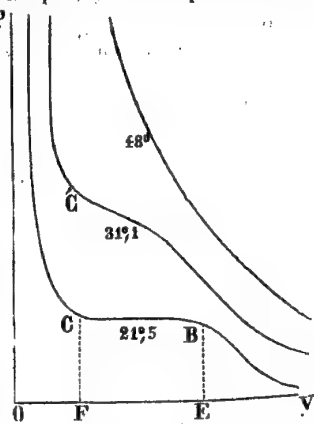


Фиг. 699.

Фиг. 700.

му состоянію имѣть на фиг. 699 болѣе протяженія чѣмъ на фиг. 700. Когда паръ достигъ насыщенія, упругость не будетъ болѣе увеличиваться, изотермная линія сдѣлается прямою *BC* и останется таковою до того объема *OF'* при которомъ весь паръ обратится въ жидкость. Объемъ этотъ будетъ нѣсколько болѣе чѣмъ соответствующій объемъ *OF* на фиг. 699,

но жидкость при высшей температурѣ, вслѣдствіе расширенія, имѣетъ вообще большій объемъ чѣмъ при низшей. Сравнивая фиг. 699 и фиг. 700 можемъ заключить что по мѣрѣ повышения температуры промежутокъ *CB*,—соответствующей тому состоянию когда происходитъ сгущеніе газа въ жидкость и въ пространствѣ занимаемомъ тѣломъ часть находится въ жидкомъ, часть въ газообразномъ состояніи,—становится менѣе и менѣе. Можно думать что при достаточно возвышенной температурѣ части *AB* и *CD*, соответствующія: *AB* газообразному, *CD* жидкому состоянию тѣла должны, слиться въ одну непрерывную линію; переходъ отъ газообразнаго состоянія въ жидкое долженъ сдѣлаться незамѣтнымъ и обыкновенный процессъ сгущенія,—при которомъ обратившаяся уже въ жидкость часть тѣла отличается отъ сохраняющей еще газообразное состояние и общая масса оказывать неизмѣняющееся давление не смотря на постепенное уменьшеніе объема,—долженъ отсутствовать въ опытѣ. Знаменитыя изслѣдованія Андрюса надъ сжатіемъ углекислоты (о которыхъ было уже говорено въ § 200) подтверждаютъ это заключеніе. На фиг. 701 изображены изотермныя линіи углекислоты, соответствующія тремъ температурамъ. Нижняя—температурѣ 21°,5. При этой температурѣ, когда масса углекислоты сжата до нѣкотораго опредѣленнаго объема *OE*, начинается обращеніе ея въ жидкое состояние подъ давленіемъ около 60 атмосферъ. Въ трубкѣ съ топкимъ каналомъ заключавшемъ въ себѣ углекислый газъ,—сжимавшійся ртутью, которая вѣсилась снизу въ трубку дѣйствіемъ винта,—можно было замѣтить черту раздѣленія между жидкою и газообразною углекислотою. Когда объемъ доведенъ былъ до величины изображаемой линіею *OF*,—приблизительно до трети объема *OE*,—весь газъ обратился въ жидкость. Промежутокъ *CB* соответствуетъ промежутку *CB* на фигурахъ 699 и 700. Вторая кривая соответствуетъ температурѣ 31°,4, нѣмого превышающей температуру наименованную Андрюсомъ критическою. „Эта критическая температура, говоритъ Максвелль,—у котораго заимствованы предыдущія соображенія,—указана Андрюсомъ при 30,92 Ц. При этой температурѣ и давленіи отъ 73 до 75 атмосферъ углекислота находится, по видимому, въ критическомъ состояніи. Нельзя замѣтить никакого раздѣленія между жидкостью и паромъ, но видѣтъ съ тѣмъ самое небольшое измѣненіе давленія или



Фиг. 701.

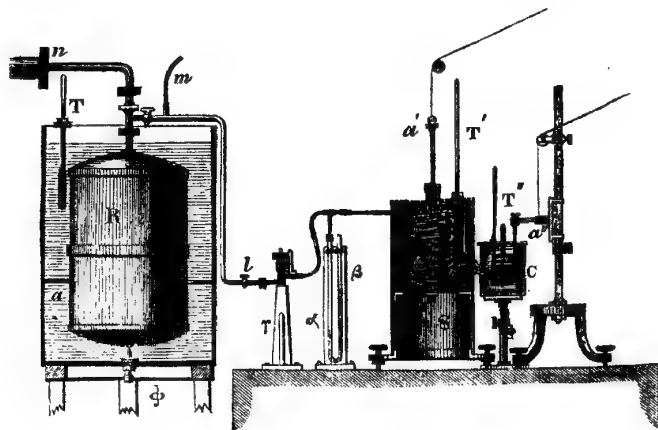
температуры производить такое измѣненіе плотности что въ трубкѣ замѣчается волнистое движеніе уподобляющееся въ усиленной формѣ тому что наблюдаемъ при смѣшеніи жидкостей разной плотности или когда теплый столбъ восходитъ „среди холодныхъ слоевъ.“ Изотермная линія для 31°,4 проходитъ выше критической точки. Во все время сжатія, тѣло никогда не бываетъ въ двухъ разныхъ состояніяхъ въ различныхъ частяхъ трубки. Когда давленіе менѣе 73 атмосферъ изотермная линія, хотя и значительно ближе чѣмъ линія въ случаѣ совершеннаго газа, сходствуетъ съ нею въ главномъ очертаніи. Отъ 73 до 75 атмосферъ объемъ быстро уменьшается, но не вдругъ; а выше этого давленія уменьшается медленнѣе чѣмъ въ случаѣ газа, но во всякомъ случаѣ быстрѣе чѣмъ въ случаѣ большинства жидкостей.

Въ изотермныхъ линіяхъ, соответствующихъ 32° и 35°,5 (на чертежѣ неизображенныхъ) еще можно замѣтить нѣкоторое увеличеніе сжимаемости около объема *OE*. При 48° кривая не представляетъ вовсе изгиба и подобна изотермной линіи газовъ.

Начнемъ опытъ съ углекислотою при 13° и нагрѣемъ ее выше 30°,9 то-есть выше критической точки. Затѣмъ постепенно увеличимъ давленіе до 100 атмосферъ. Во время этого процесса никакого признака обращенія въ жидкость не замѣтимъ. Наконецъ охладимъ газъ опять до 13°, сохраняя давленіе 100 атмосферъ. Во время этого процесса нельзя замѣтить никакого вдругъ происходящаго измѣненія состоянія, но углекислота при 13° и давленіи 100 атмосферъ имѣетъ несомнѣнно всѣ свойства жидкости. При температурѣ 13° мы не можемъ обратить углекислоту въ жидкое состояние безъ сгущенія наступающаго съ извѣстнаго момента; но указаннымъ процессомъ,—когда давленіе прилагается при высокой температурѣ,—мы можемъ заставить тѣло отъ состоянія несомнѣнно газообразнаго перейти къ состоянию несомнѣнно жидкому безъ всякаго извѣстнаго измѣненія подобнаго обыкновенному обращенію въ жидкость.

§ 481. Удѣльная теплота газовъ при постоянномъ давленіи и постоянномъ объемѣ. Теоретическій выводъ величины механическаго эквивалента тепла. Различаютъ удѣльную теплоту газа при постоянномъ давленіи и удѣльную теплоту газа при постоянномъ объемѣ. Удѣльная теплота при постоянномъ объемѣ есть то количество тепла какое потребно для нагрѣванія единицы вѣса газа на одинъ градусъ, въ случаѣ когда газу не дозволяютъ расширяться, сохраняя его въ опредѣленномъ неизмѣняемомъ объемѣ. Теплота принимаемая газомъ въ этомъ случаѣ идетъ на увеличеніе молекулярнаго движенія его частицъ, порождающаго повышеніе температуры. Удѣльная теплота газа при постоянномъ давленіи есть то количество тепла какое потребно для нагрѣванія на одинъ градусъ единицы вѣса газа въ слу-

вертёте несколько расширяют движением винта запирающего его болте или менше. Нагртый газъ вступаетъ въ калори-



Фиг. 703.

метръ *C*, состоящій изъ наружнаго сосуда съ двойными стѣнками, заключающаго въ себѣ воду омывающую внутреннй сосудъ съ длиннымъ каналомъ, чрезъ который проходитъ газъ, выходя въ воздухъ. Такимъ образомъ постоянный потокъ нагртаго газа проходитъ чрезъ калориметръ оставляя теплоту и выходя изъ калориметра при температурѣ равной температурѣ окружающей воды. Количество прошедшаго въ данное время газа можно знать по убыли его въ резервуарѣ (его можно опредѣлить на основаніи показаній большаго манометра). Теплота утраченная газомъ вошедшимъ въ калориметръ при T^0 , вышедшемъ при T^1 , приобретена водою и металломъ калориметра, и можетъ быть пзмѣрена съ точностію. Узнавъ ея количество, не трудно вычислить удѣльную теплоту изслѣдуемаго газа.

§ 482. Термическія явленія сопровождающія расширеніе и сжатіе газовъ. Термическими явленіями сопровождающими сжатіе и расширеніе газовъ Джоуль воспользовался для опредѣленія механическаго эквивалента теплоты путемъ опыта. Для этой цѣли онъ сжималъ воздухъ до упругости двадцати атмосферъ въ металлическомъ резервуарѣ, помощію небольшого сжимающаго насоса, при чемъ и резервуаръ и насосъ помѣщались среди воды калориметра достаточныхъ размѣровъ. Работа наблюдателя двигавшаго поршнемъ шла, очевидно, на два дѣйствія: треніе поршня и сжатіе газа. Теплоту порождавшуюся треніемъ можно было опредѣлить, двигая поршень безъ сжатія газа. Избытокъ,

обнаружившійся когда движеніе сопровождалось сжатіемъ, показывалъ сколько теплоты развивается при сжатіи массы газа занимавшей резервуаръ отъ объема какой она занимала подъ давленіемъ атмосеры до объема приблизительно въ двадцать разъ меньшаго. Работа, произведшая это сжатіе, вычислялась на основаніи закона Мариотта. Эти два данныя: работа и произведенная ею теплота позволили опредѣлять эквивалентъ.

Въ другомъ рядѣ опытовъ, Джоуль выпускалъ сжатый до 29 атмосферъ газъ изъ резервуара, помѣщеннаго среди воды калориметра. Вышедшій газъ пузырями поднимался въ сосудъ наполненный водою и опрокинутый открытымъ концемъ внизъ надъ водою ванною. Газъ, восходя вверхъ сосуда, вытѣснялъ изъ него воду, дѣйствуя на ея поверхность какъ на поршень. Повторяя удерживаемый силою равную атмосферному давленію. Повторяя наполненіе до тѣхъ поръ пока выходилъ весь воздухъ нажатый въ резервуаръ, можно было замѣтить и измѣрить охлажденіе обнаруживающееся при такомъ двадцати-кратномъ расширеніи газа вопреки атмосферному давленію. Работу произведенную газомъ можно разсматривать какъ поднятіе поршня обремененнаго давленіемъ равнымъ атмосферному, на высоту соответствующую двадцатикратному расширенію участвовавшей въ опытѣ массы газа. Утраченная теплота и произведенная работа служили данными для опредѣленія эквивалента.

Расширеніе не сопровождающееся произведеніемъ работы не влечетъ за собою охлажденія расширяющейся массы газа. Джоуль оправдалъ это положеніе, помѣстивъ среди воды большаго калориметра два резервуара, изъ которыхъ въ одномъ былъ значительно сжатый газъ, въ другомъ пустота. Когда резервуары были приведены въ сообщеніе, газъ расширялся переходя въ пустой резервуаръ, пока въ обоихъ резервуарахъ устанавливалось равное давленіе. Ни малѣйшаго измѣненія температуры воды калориметра не было замѣтно. Но если резервуары были помѣщены каждый въ свой особый калориметръ, то можно было замѣтить что резервуаръ выпускавшій газъ нѣсколько охлаждался, тогда какъ принявшій газъ нѣсколько нагревался. Помощію другой методы можно, на столько же нагревался. Помощію другой методы можно, впрочемъ, обнаружить, въ случаѣ многихъ газовъ, нѣкоторое охлажденіе при расширеніи безъ внѣшней работы, вследствие слабаго поглощенія теплоты внутреннею работою.

§ 483. Отличіе физическихъ явленій отъ явленій химическихъ. Въ основаніе теоретическаго объясненія физическихъ явленій полагается допущеніе что тѣла состоятъ изъ отдѣльных частицъ подверженныхъ взаимнымъ дѣйствіямъ. Для уясненія такъ называемыхъ химическихъ явленій, то-есть такихъ которыя сопровождаются измѣненіемъ самаго состава тѣла и образуютъ новыхъ тѣлъ отличныхъ отъ тѣхъ которые приняты въ взаимодѣйствіе, требуется допустить что самыя частицы подлежатъ раздробленію, состоя въ свою очередь изъ

частей которых могут быть названы *атомами*. Согласно такому допущению мы назовем явление физическим если оно не сопровождается раздробленіем частиц; химическим, если происходит раздробление и новая группировка атомовъ. При этомъ надлежитъ допустить, что и въ тѣлахъ химически простыхъ частицы состоятъ каждая изъ нѣсколькихъ, вообще изъ двухъ (если нѣтъ основанія предполагать большее число) *однородныхъ* атомовъ. Отдѣльный атомъ не можетъ составлять физической частицы, а непременно въ соединеніи съ другимъ однороднымъ или разнороднымъ. Въ этомъ смыслѣ атомовъ отдѣльно не бываетъ, а всегда группа по крайней мѣрѣ двухъ, и въ химическихъ процессахъ за раздробленіемъ частицъ на атомы тотчасъ слѣдуетъ ихъ новая группировка въ частицы.

IV. Междучастичная среда.

§ 484. Лучистое распространеніе тепла и свѣта чрезъ *эфиръ*. Для объясненія лучистаго распространенія тепловой и свѣтлой теплоты, допускаютъ что все пространство, какъ между тѣлами разсѣянными во вселенной, такъ и между частицами каждаго тѣла, наполнено тончайшей формой вещества, именуемой *эфиромъ*. Частицы изъ которыхъ слагается масса тѣла твердаго, жидкаго или газа, помѣщены въ эфиръ какъ поплавки среди жидкой массы. При посредствѣ эфира происходитъ передача лучистаго дѣйствія отъ одной частицы къ другой, или отъ цѣлаго тѣла къ другому, подобно тому какъ дрожательное движеніе, въ какомъ находится звучащее тѣло, черезъ воздухъ передается окружающимъ предметамъ.

Передача тепловыхъ и свѣтовыхъ колебаній, какъ и передача звука, происходитъ по законамъ *волнообразнаго* движенія. Наблюденіе волнъ на поверхности воды, а еще лучше слѣдующій опытъ могутъ дать наглядное представленіе о томъ что разумѣется подъ именемъ движенія этого рода. Представимъ себѣ прямолинейный рядъ маятниковъ, и пусть каждый изъ нихъ на одинаковый уголъ и въ одинаковомъ направленіи выведенъ изъ положенія равновѣсія и удержи-

вается въ этомъ отклоненномъ состояніи. Ставимъ послѣдовательно пускать ихъ въ движеніе, начиная съ перваго и переходя чрезъ равные промежутки времени къ слѣдующимъ. Каждый маятникъ совершаетъ то же движеніе какъ предстоящіе ему и слѣдующіе за нимъ, но одинаковые моменты движенія не совпадаютъ между собою, и первый маятникъ пройдетъ уже извѣстный путь, когда нѣкоторый другой только начинаетъ движеніе. Пусть, напримѣръ, первый окончилъ полный размахъ взадъ и впередъ, въ моментъ когда тринадцатый только что пускается. Разстоянія ихъ раздѣляющіе можетъ быть названо *длиною волны* и въ дальнѣйшемъ движеніи они будутъ постоянно находиться въ одинаковомъ состояніи. То же можно сказать о второмъ и четырнадцатомъ и т. д., вообще о каждаго двухъ находящихся между собою на разстояніи длины волны. Находящіеся на разстояніи половинны волны имѣютъ противоположное движеніе.

Вслѣдствіе предположенной постепенности пусканія, можно сказать что то состояніе въ какомъ, въ данное мгновеніе, находится разсматриваемый маятникъ пріобрѣтается однимъ изъ послѣдующихъ лишь чрезъ нѣсколько времени. Сказанное объ одномъ маятникѣ можно распространить на цѣлую волну и сказать что то состояніе, въ какомъ въ данное мгновеніе находится система маятниковъ составляющая волну постепенно захватываетъ новые и новые маятники перемѣщаясь равномернымъ движеніемъ. Маятники качаются каждый около своего положенія равновѣсія; *волна* имѣетъ поступательное движеніе вдоль прямой линіи, соединяющей положенія равновѣсія маятниковъ (*лучъ волнообразнаго движенія*).

Мы не условились въ томъ какое направленіе имѣютъ плоскости качанія нашихъ маятниковъ относительно луча распространенія. Здѣсь представляются два главные случая Или плоскости эти совпадаютъ въ одну,

закрывающую въ себѣ лучъ. Маятники качаются слѣдовательно *вдоль* луча распространѣнія, въ разные моменты то сближаясь между собою, то удаляясь одинъ отъ другаго. Или плоскости эти параллельны между собою и перпендикулярны къ направленію луча. Маятники качаются *поперечно* относительно луча.

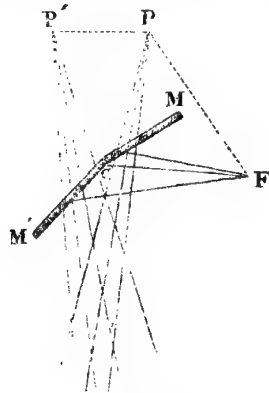
Если мы мысленно замѣнимъ маятники частицами среды, въ которой происходитъ волнообразное движеніе, или лучше слоями среды перпендикулярными къ лучу распространѣнія этого движенія, то получимъ весьма наглядное представленіе о томъ какъ въ простѣйшихъ случаяхъ происходитъ распространѣніе звуковыхъ и свѣтовыхъ волнъ. Колебанія какими распространяется звукъ происходятъ *вдоль* луча—*продольныя* колебанія: качающіеся слои то сближаются, то взаимно удаляются и распространѣніе движенія сопровождается сжатіемъ и разрѣженіемъ среды (какъ мы уже объясняли говоря въ § 109 объ образованіи сжатыхъ и разрѣженныхъ звуковыхъ волнъ). Колебанія помощью которыхъ распространяется свѣтъ суть *поперечныя*; распространѣніе свѣта въ эфирѣ не сопровождается измѣненіями плотности этой среды; свѣтовые волны не бываютъ сжаты и разрѣжены какъ волны звука. Слои эфира перпендикулярные къ лучу свѣта, качаясь, скользятъ одинъ по другому, не сближаясь между собою и не удаляясь взаимно. Качанія частицъ воды, чрезъ которыя проходятъ волны бѣгущія по водной поверхности, также приблизительно можно разсматривать какъ поперечныя (поплавокъ помѣщенный на водѣ при прохожденіи волнъ подымается и затѣмъ опускается, не перемѣщаясь *вдоль* направленія по какому бѣжить волна). Потому сравненіе водныхъ волнъ съ волнами звука и свѣта точнѣе по отношенію къ свѣтовымъ, чѣмъ къ звуковымъ волнамъ.

§ 485. Интерференція волнообразныхъ движеній. Примѣръ интерференціи представляемый случаемъ пересѣченія водныхъ волнъ. Объ интерференціи водныхъ и звуковыхъ волнъ было уже говорено въ § 133, преимущественно словами Гельмгольца. Приведемъ разсужденіе Френеля о томъ же предметѣ. Всякому случалось бросая камень въ спокойную воду, замѣчать, что, когда двѣ группы волнъ пересѣкаются на ея поверхности, то бываютъ точки гдѣ она остается неподвижной (предполагаемъ системы волнъ приблизительно одинаковой силы); тогда какъ бываютъ другія, гдѣ волны вздымаются чрезъ соединеніе. Причину легко усмотрѣть. Волнообразное движеніе водной поверхности состоитъ изъ вертикальныхъ движений, попеременно подымающихъ и опускающихъ частицы жидкой, пересѣченіе волнъ случается что, въ точности. Но вслѣдствіе пересѣченія волнъ случается что, въ некоторыхъ точкахъ встрѣчи, одна изъ волнъ приноситъ восходящее движеніе, тогда какъ другая въ то же время стремится понизить поверхность жидкости; если два импульса одинаковы, жидкость не можетъ уже подчиниться одному преимущественно предъ другимъ и должна остаться въ покоѣ. Напротивъ того въ тѣхъ точкахъ встрѣчи гдѣ движенія слагаются въ одну сторону, гдѣ они постоянна согласны, жидкость выходящая въ одну сторону двумя волнами, подымается или опускается со скоростью равною суммѣ двухъ полученныхъ импульсовъ,—съ двойною въ разсматриваемомъ случаѣ, такъ какъ предполагается объ волнахъ равнаго напряженія. Между этими точками полного согласія и полной противоположности, представляющими одѣ совершенное отсутствіе движенія, другія, напротивъ, максимумъ колебанія жидкости, есть безконечное множество другихъ посредствующихъ точекъ, гдѣ волнообразное качаніе совершается съ большею или меньшею энергіею, смотря по тому приближается ли ихъ состояніе къ состоянію полного согласія или полного противоположенія двухъ встрѣчающихся въ нихъ движеній. Волны распространяющіяся внутри упругой жидкости (напримѣръ волны звука въ воздухѣ) хотя по природѣ своей весьма отличны отъ волнъ о которыхъ мы только что говорили, производятъ однако въ своихъ интерференціяхъ механическіе результаты совершенно аналогичные движеніямъ. Дѣйствительно, достаточно чтобы движенія эти были колебательныя, то-есть переносили частицы попеременно въ ту и другую сторону, дабы дѣйствіе одного ряда волнъ могло быть уничтожено дѣйствіемъ другаго ряда того же напряженія. Ибо, какъ скоро разность пути двухъ группъ волнъ будетъ такою что для каждой точки жидкости движущіяся въ одну сторону происходящія отъ первой соотвѣтствуютъ движущіяся въ противоположную сторону приносимымъ второю, движенія эти, если равны по напряженію, нейтрализуются взаимно и частицы жидкости остаются въ покоѣ. Это

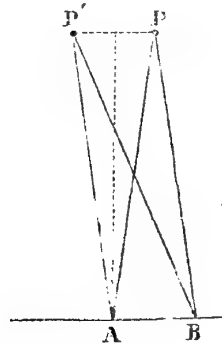
мощію куска ткани посыпанного канифолью или помощію пальцевъ покрытыхъ тѣмъ же порошкомъ. Измѣреніе разстоянія между узлами можетъ и въ этомъ случаѣ служить къ опредѣленію скорости звука въ веществѣ прута.

Мы говорили объ органныхъ трубкахъ гдѣ звукъ образуется струею воздуха разбивающеюся о неподвижное препятствіе. Есть другой родъ органныхъ трубокъ, трубки съ язычкомъ, гдѣ отверстие чрезъ которое проходитъ воздухъ прикрыто упругою пластинкою приходящею въ дрожаніе.

§ 486. Интерференція свѣта. При пересѣченіи лучей свѣта также могутъ обнаруживаться явленія интерференціи. Свѣтъ прибавленный къ свѣту можетъ производить темноту. Но для того чтобы два луча могли взаимно уничтожаться, они должны быть одинаковы по отношенію къ длинѣ ихъ волнъ, направленію и силѣ колебаній. Лучи выходящіе изъ двухъ разныхъ свѣтящихся точекъ, хотя бы и одного цвѣта, не довольно одинаковы чтобы могли интерферироваться. Потому берется одинъ источникъ, одна свѣтящаяся точка, и лучи ея разбиваются на двѣ системы, которыя заставляютъ пересѣкаться подъ очень острымъ угломъ, дабы онѣ были по возможности близки къ совпаденію. Йонгъ пропускалъ лучи вышедшіе изъ одной точки чрезъ двѣ малыя дырочки или узкія щели и принималъ прошедшій свѣтъ на экранѣ. Гдѣ пересѣкались пучки лучей доставляемая тою и другою точкою можно было замѣтить тонкія темныя и свѣтлыя полосы. Френель раздвоялъ лучи помощію двухъ зеркалъ. Свѣтящаяся точка (фиг. 709) даетъ два



Фиг. 709.



Фиг. 710.

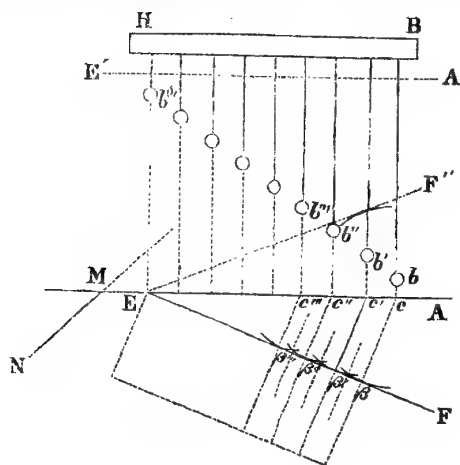
мнимыхъ изображенія, и лучи по отраженіи идутъ такъ какъ если бы выходили изъ двухъ близко лежащихъ точекъ P и P' .

Два луча пересѣкающіеся подъ острымъ угломъ въ точкѣ A (фиг. 710) усиливаются взаимно, такъ какъ пройденные пути PA и $P'A$ равны между собою. Въ точкѣ B , гдѣ разность путей PA и $P'A$ достигаетъ половины волны (или нечетнаго числа полуволнъ) лучи уничтожаются, и обнаруживается темное мѣсто. Такимъ образомъ на ту и другую сторону отъ A обнаруживается рядъ полосокъ. Если лучи выходящіе изъ F однородные (одного цвѣта и слѣд. опредѣленной длины волны) то полосы попеременно бываютъ темныя и свѣтлыя. Ихъ ширина не одинакова для разныхъ цвѣтовъ. Потому если лучи выходящіе изъ F бѣлые, то темныя и свѣтлыя мѣста разныхъ цвѣтовъ не совпадаютъ между собою, и полосы представляются радужными.

Начало интерференціи служитъ также къ объясненію радужныхъ полосъ какія, при освѣщеніи лучами выходящими изъ одной точки, окаймляютъ тѣнь узкаго предмета, какъ иглозка, волосъ; также полосъ какія образуются лучами прошедшими чрезъ узкую щель и уклоняющимися въ обѣ стороны отъ ея геометрическаго продолженія, и т. под. Эти явленія именуются *диффракціей свѣта*. (§ 220).

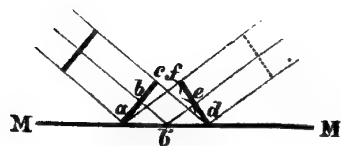
§ 487. Объясненіе отраженія и преломленія свѣта по теоріи волненія. Основатель теоріи волненія, Гюгенсъ, объяснялъ отраженіе и преломленіе свѣта помощію начала образованія *сложной волны* изъ многихъ простыхъ. Слѣдующій опытъ даетъ наглядное представленіе о томъ, какъ чрезъ соединеніе простыхъ волнъ можетъ произойти сложная въ случаѣ движенія растянутаго на поверхности воды. Представимъ себѣ пространяющагося на поверхности воды. Представимъ себѣ переключину BH (фиг. 711), къ которой привѣсьтъ рядъ шариковъ на нитяхъ разной длины, такъ что центры ихъ лежатъ на одной прямой линіи наклонной къ горизонту. Станемъ опускать переключину параллельно самой себѣ равномернымъ движеніемъ внизъ до поверхности воды. Первый коснется поверхности шарикъ b и произведетъ круговую волну, постепенно распространяющуюся отъ точки погруженія какъ отъ центра. Послѣ перваго шарика, чрезъ равныя промежутки времени, будутъ погружаться второй, третій и т. д., производя каждый свою круговую волну. Когда послѣдній шарикъ b коснется воды въ точкѣ E , волна произведенная первымъ шарикомъ b успѣла уже достигнуть точки B , порожденная вторымъ точкой b' т. д. Волны эти, каждая подымая воду въ мѣстахъ гдѣ проходятъ, оказываютъ въ точкахъ своего взаимнаго пересѣченія ходитъ, оказываютъ въ точкахъ своего взаимнаго пересѣченія согласное дѣйствіе. Потому точки эти образуютъ общій валъ EF на протяженіи котораго поднятіе воды значительно превышаетъ поднятіе производимое отдѣльными шариками и равными. Вслѣдствіе равномерности опусканія шариковъ и равномерности распространенія круговыхъ волнъ по поверхности воды валъ EF представляетъ прямую линію. (Налично

упоминать что по другую сторону линии EA образуется другой прямолинейный валъ EF').

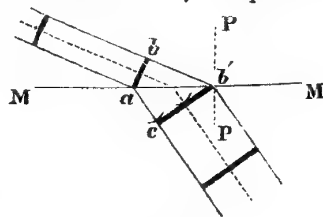


Фиг. 711.

Нѣчто подобное описанному явленію происходитъ, по ученію Гюгенса, въ случаѣ когда пучокъ лучей свѣта падаетъ на прозрачную поверхность и отчасти отражается отъ нея. отчасти преломляется. Допустимъ что лучи выходятъ изъ нѣкоторой отдаленной свѣтящейся точки и слѣд. могутъ быть принимаемы за параллельные между собою. Линію перпендикулярную къ ихъ направленію можно разсматривать какъ часть сферической волны распространяющейся отъ этой точки и несущей нѣкоторое определенное состояніе колебанія, одинаковое для всѣхъ ея точекъ. Такая *плоская* волна (фиг. 712) переминаясь параллельно себѣ, достигаетъ, въ положеніи abc , поверхности



Фиг. 712.



Фиг. 713.

MN , захватывая послѣдовательно ея точки, лежащія между a и d . Каждая изъ этихъ точекъ, будучи достигнута волною, сама становится центромъ колебанія и посылаетъ отъ себя двѣ волны: одну полусферически распространяющуюся въ верхней средѣ (фиг. 712), той гдѣ идетъ падающій лучъ; другую полусферически распространяющуюся въ нижней или преломляющей средѣ (фиг. 713). Въ тотъ моментъ когда волна коснется точки d (фиг. 712) колебаніе отъ точки a какъ центра успѣло распространиться вверхъ во всѣ стороны, на разстояніе равное длинѣ cd и сообщится всѣмъ точкамъ лежащимъ на кругѣ имѣющемъ радиусомъ эту величину (такъ какъ распространеніе происходитъ въ той же средѣ, то отраженное колебаніе имѣетъ ту же скорость какъ падающее). Колебаніе отъ точки b' лежащей въ срединѣ между a и c распространится на разстояніе равное половинѣ cd и т. д.; точка d только что придетъ въ колебаніе. Линія df образованная пересѣченіемъ всѣхъ отдѣльныхъ сферическихъ волнъ, касательная къ кругамъ описаннымъ изъ точекъ a, b' ... соответствующими радиусами (такъ что $cd = af$, $b'e = \frac{1}{2} cd$, и т. д.), представитъ сложную волну отраженныхъ лучей. Такъ какъ $cd = af$, то треугольники acd и afd равны между собою. Слѣдовательно углы $fad = cda$: но уголъ cda есть уголъ падающаго луча съ поверхностію MN , fad соответствующій уголъ отраженнаго. Другими словами лучъ падающій и лучъ отраженный дѣлаютъ, согласно съ опытомъ, равные углы съ поверхностію отраженія.

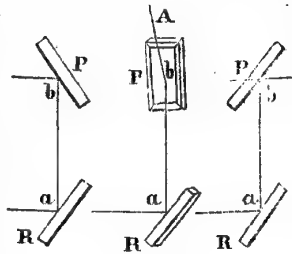
Колебанія отъ точекъ a, b' ... распространяются и въ нижней средѣ (фиг. 713) но съ иною скоростью чѣмъ въ верхней. Потому когда падающая волна отъ b дойдетъ до b' , колебаніе отъ точки a распространится внизъ на нѣкоторое разстояніе, большее или меньшее чѣмъ bb' , смотря потому скорость распространенія свѣта въ нижней средѣ болѣе или менѣе чѣмъ въ верхней. Допустимъ что она менѣе. Сферическая волна отъ a распространяется до круга имѣющаго радиусъ менѣе bb' . Пусть длина этого радиуса равняется ac . Описавъ изъ точки a кругъ радиусомъ ac и проведя изъ b' касательную линію къ этому кругу, получимъ преломленную волну cb' . Назовемъ скорость распространенія свѣта въ первой средѣ буквою V , во второй буквою V' . Тогда $bb' = Vt$, гдѣ t малое время, въ продолженіе котораго свѣтовое колебаніе въ первой средѣ проходитъ пространство равное bb' . Подобнымъ образомъ во второй средѣ проходимо въ то же время пространство $ac = V't$. Но $bb' = ab' \cos ab'b = ab' \sin i$ гдѣ $i = \angle b'bP$ уголъ паденія. Также $ac = ab' \sin ab'c = ab' \sin r$, гдѣ $r = \angle ab'c =$ уголъ преломленія. Отсюда законъ преломленія $\frac{bb'}{ac} = \frac{V}{V'} = \frac{\sin i}{\sin r} = n$,

гдѣ n постоянная величина. Видимъ что показатель преломленія n есть отношеніе скорости свѣта въ первой средѣ къ скорости свѣта во второй. Чтобы преломленный лучъ, какъ въ

верхностию. Вообще лучь отражается от прозрачнаго тѣла вполне поляризованнымъ если уголъ паденія таковъ что преломленная, внутри тѣла проникающая часть луча имѣетъ направленіе перпендикулярное отраженной его части (законъ Брюстера). Изъ которыхъ непрозрачныя тѣла какъ мраморъ, черныя лаки и проч. также могутъ вполне поляризовать свѣтъ. Металлическія поверхности, а между прозрачными тѣлами алмазь не сообщаютъ лучу полной поляризації (потому амальгамированныя зеркала не годятся для опытовъ съ поляризациею).

Черезъ преломленіе также можно сообщить лучу поляризацию, и если наклонно пропустить пучокъ лучей черезъ рядъ стеклянныхъ пластинокъ, помѣщенныхъ параллельно одна съ другими (столбъ пластинокъ), то значительная доля прошедшаго свѣта оказывается поляризованною. Прохождение черезъ пластинку турмалина также дѣлаетъ лучъ поляризованнымъ.

§ 492. Отраженіе поляризованнаго свѣта. Поляризаторы и анализаторы. Малюсъ открылъ также что отраженіе поляризованнаго луча происходитъ, по отношенію къ количеству отражаемаго свѣта, иначе чѣмъ отраженіе естественнаго. Имѣемъ, напримеръ, лучъ поляризованный черезъ отраженіе отъ стеклянной пластинки (фиг. 719). Примемъ этотъ лучъ на другое зеркало подъ тѣмъ же угломъ $35\frac{1}{2}^\circ$ съ поверхности. Напряженіе свѣта вторично отраженного луча будетъ зависеть отъ положенія втораго зеркала которое, очевидно, при томъ же уголѣ $35\frac{1}{2}^\circ$ можно поставить такъ что отраженный лучъ будетъ направленъ къ той или другой сторонѣ горизонта. Станемъ характеризовать положеніе зеркала направлениемъ плоскости паденія отражаемаго имъ луча. Если плоскость паденія на второе зеркало будетъ совпадать съ плоскостію паденія на первое, то количество отраженного свѣта будетъ наибольшее. Если станемъ поворачивать зеркало (сохраняя уголъ $35\frac{1}{2}^\circ$) такъ что плоскости паденія будутъ дѣлать между собою

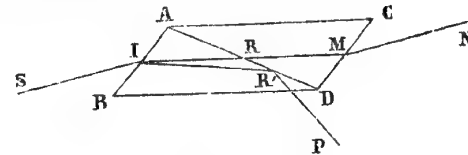


Фиг. 718.

уголъ, то количество отраженного свѣта станетъ уменьшаться, и когда плоскости паденія будутъ перпендикулярны между собою, напряженіе свѣта отражаемаго отъ втораго зеркала будетъ равно нулю. Лучъ вовсе не дастъ отраженной части и весь проникнетъ въ стекло. Между тѣмъ если бы лучъ былъ естественный, онъ во всѣ стороны отражался бы одинаково, въ количествѣ соответствующемъ углу отраженія (съ поверхности) $35\frac{1}{2}^\circ$. Въѣсто луча поляризованнаго черезъ отраженіе можно взять лучъ поляризованный какимъ-либо инымъ способомъ: черезъ двойное

преломленіе, простое преломленіе, турмалинъ. Явленія будутъ подобны, если, въ случаѣ обыкновеннаго луча, даннымъ плоскости главнаго сѣченія то значеніе κ кое давали въ описанномъ опытѣ плоскости паденія на поляризующее зеркало; и если въ случаѣ необыкновеннаго луча то же значеніе дадимъ плоскости перпендикулярной къ плоскости главнаго сѣченія.

Вообще снаряды доставляющіе поляризованный свѣтъ называются *поляризаторами*, снаряды обнаруживающіе поляризационныя свойства луча — *анализаторами*. Призма съ двойнымъ преломленіемъ есть одинъ изъ употребительнѣйшихъ поляризаторовъ и анализаторовъ. Она доставляетъ два поляризованныхъ пучка, но одинъ можно загорождать надлежаще поставленной діафрагмой; будетъ имѣть одинъ поляризованный пучокъ. Взявъ продолговатую призму шпата, раздѣливъ ее пополамъ плоскостію проведенною отъ одного тупаго угла до другаго и склеивъ отдѣленные части помощію канадскаго кубальзама, получимъ такъ-называемую призму Николя длина кубка шпата такова что дѣленіе AD дѣлаетъ со сторонами AB и CD уголъ немного разнящійся отъ прямиаго). Изъ двухъ частей раздвояемаго ею луча обыкновенна (фиг. 719) отклоняется полнымъ внутреннимъ отраженіемъ.



Фиг. 719.

§ 493. Хроматическая поляризация. Возьмемъ поляризационный аппаратъ состоящій, напримеръ, изъ николевой призмы въ качествѣ поляризатора и призмы съ двойнымъ преломленіемъ въ качествѣ анализатора. Поставимъ главное сѣченіе анализатора такъ чтобы одно изъ доставляемыхъ имъ изображеній затмилось. Помѣстимъ затѣмъ между поляризаторомъ и анализаторомъ перпендикулярно идущему лучу, тонкую пластинку какого-нибудь прозрачнаго тѣла кристаллическаго строенія. Исчезнувшее изображеніе появится, и оба изображенія, говоря вообще, представятся окрашенными. Можно различить три главные случая такой *хроматической поляризації*.

1) Если пластинка вырѣзана изъ тѣла съ двойнымъ преломленіемъ такъ что оптическая ось находится въ ея плоскости параллельно оси), то два изображенія оказываются докостн параллельныхъ цвѣтовъ, зависящихъ отъ толщины пластинки и ея положенія. При поворачиваніи пластинки обмѣниваются яркость цвѣтовъ измѣняется состояніе безцвѣтности. 2) Если пластинка вырѣзана перпендикулярно оси, то въ случаѣ если входящій въ пластинку пучекъ состоитъ изъ параллельныхъ лу-

чей, она не оказывает дѣйствія (какъ если бы не была кристаллическою). Но если пучекъ сдѣлать, помощію стекла поставленнаго за поляризаторомъ, сходящимся, то въ изображеніяхъ появится по системѣ колецъ дополнительныхъ одна отъ другой. 3) Если пластинка вырѣзана изъ кварца (горный хрусталь) то и въ случаѣ параллельнаго пучка изображенія представляются окрашенными. При поворачиваніи пластинки цвѣта не мѣняются, но если поворачивать поляризаторъ или анализаторъ, цвѣта (постоянно дополнительные въ двухъ изображеніяхъ) мѣняются, переходя чрезъ разнообразныя оттѣнки призматической гаммы. Последнее явленіе именуется *вращательной поляризацией*. Оно обнаруживается не въ кварцѣ только: многія жидкія тѣла, напримѣръ растворъ сахара, имѣютъ по отношенію къ поляризованому лучу свойства подобныхъ пластинкѣ кварца вырѣзанной перпендикулярно къ оси. Въ случаѣ однороднаго цвѣта дѣйствіе пластинки кварца состоитъ въ томъ что она поворачиваетъ на нѣкоторый уголъ плоскость поляризациіи проходящаго чрезъ нее луча.

§ 494. Вращательная поляризація отъ дѣйствія магнита. Фарадей показалъ что свойство вращать плоскость поляризаціи можно сообщить прозрачнымъ тѣламъ дѣйствіемъ магнита. Это поразительное открытіе онъ сообщилъ Лондонскому Королевскому Обществу въ 1845 году въ запискѣ озаглавленной: *О намагничении стекла и освѣщеніи линій магнитной силы*. Пропустимъ *поляризованный лучъ* чрезъ анализаторъ, каковымъ возьмемъ призму Николя. Поворачивая призму найдемъ положеніе, тогда поле зрѣнія будетъ совершенно темно. Если на пути между поляризаторомъ и анализаторомъ поставимъ кусокъ прозрачнаго тѣла, напримѣръ стекла (Фарадей сдѣлалъ свое открытіе, употребляя тяжелое стекло, содержащее много свинца—такъ-называемый флинтъ Фарадея), то явленіе ни въ чемъ не измѣнится, и поле зрѣнія будетъ по прежнему темно. До сихъ поръ обыкновенныя явленія поляризаціи. Но поставимъ въ сосѣдствѣ куска тяжелаго стекла сильный электромагнитъ, который, чтобы разсуждать нагляднѣе, представимъ себѣ подковообразнымъ, и поставимъ такъ, чтобы линія соединяющая его полюсы шла параллельно направленію луча (тогда, согласно обозначенію Фарадея, линія магнитной силы будутъ идти въ стеклѣ въ томъ же направленіи какъ и лучъ свѣта). Какъ только замкнемъ токъ электромагнита, и онъ получитъ магнитную силу—поле зрѣнія освѣтится, лучъ, прежде не проходившій чрезъ анализаторъ, получитъ способность проходить чрезъ него. Кусокъ тяжелаго стекла отъ дѣйствія магнита приобрететъ свойство, какое отъ природы имѣютъ нѣкоторыя тѣла, какъ кварцъ, растворъ сахара и т. д. Дѣйствіе магнита сообщаетъ это удивительное свойство не только жидкому стеклу, но въ большей или меньшей степени и другимъ прозрачнымъ тѣламъ.

REPETITORIUM.

Механическая часть.

I. Ученіе о тяжести.

1) Направленіе по какому тяжесть дѣйствуетъ на тѣла называется *отвѣснымъ* или *вертикальнымъ*. Оно перпендикулярно къ поверхности воды, а слѣдов. направлено къ центру земли, такъ какъ поверхность воды на землѣ можетъ считаться сферическою.

2) Точка чрезъ которую проходитъ равнодѣйствующая силы тяжести при всѣхъ положеніяхъ тѣла называется его центромъ тяжести. Тѣло остается въ равновѣсіи, когда вертикальная линія проведенная чрезъ центръ тяжести проходить чрезъ точку тѣла которая подперта или между точками которыя подперты. Равновѣсіе *устойчиво*, если центръ тяжести повышается при выведеніи тѣла изъ положенія равновѣсія; *неустойчиво*, если понижается.

3) Правило рычага: *грузы или вообще силы обратно пропорціональны плечамъ*. Помощію рычага можно большое пресило уравнивать большую или побѣдить большое препятствіе, но что выигрывается въ силѣ теряется въ пропѣтствіи, но что выигрывается въ силѣ теряется въ пропѣтствіи, но что выигрывается въ силѣ теряется въ пропѣтствіи. Работать вообще значить побѣждать препятствіе. Два элемента работы: величина препятствія и путь или протяженіе на какомъ препятствіе побѣждается. Единица работы—килограммъ, пудифутъ.

4) Вѣсы должны быть *вѣрны* и *чувствительны*. Вѣрность зависитъ отъ равенства плечъ. Чувствительность отъ длины и вѣса коромысла и близости его центра тяжести къ точкѣ опоры. Точка опоры и точка привѣса должны быть на одной прямой линіи, чтобы чувствительность не зависѣла отъ взвѣшиваемыхъ грузовъ.

5) *Плотность или удѣльный вѣсъ* тѣла есть отношеніе

16) Явление представляемая Мариоттовым сосудом объясняется высотой жидкости в открытой, проходящей в сосуде трубке, и теория приводится к случаю открытого сосуда.

17) Барометр измеряет давление атмосферы; бывает сифонный и с чашечкою. Наблюдения одинаково можно производить на дворе или в комнате. Приведение к 0°.

18) В воздушном насосе клапан в поршне приподнимается вытесняемым воздухом, клапан при соединении с разрежаемым пространством закрывается пробкою приподнимаемой движением поршня. В насосе с двумя цилиндрами поршни суть как бы чашки вѣсовъ обремененные одинаковыми грузами. Манометр при насосе есть укороченный барометр.

19) Мариоттов закон: *объем данной массы газа обратно пропорционален давлению* (при неизменяемой температуре). При давлениях больше атмосферного может быть оправданъ помощью манометра с длиннымъ открытымъ каналомъ; при меньшихъ атмосферного — погружениемъ закрытой трубки в глубокий сосуд со ртутью. Выражается формулою $V:V'=P:P$ или $VP=V'P'=V''P''=V'''P'''...$ то есть произведение объема на давление остается постояннымъ.

20) Законъ Архимеда прилагается и к газамъ. На этомъ основываются аэростаты.

21) Параллелограммъ силъ. *Въ случаѣ силъ дѣйствующихъ подъ угломъ, ихъ равнодѣйствующая изображается по величинѣ и направленію диагональю параллелограмма построеннаго на линияхъ изображающихъ эти силы.*

22) Формулы: *равномернаго движениа* $e=vt$; *равномерно-ускореннаго* $v=gt$, $e=\frac{gt^2}{2}$, $v=\sqrt{2gh}$ (формулы паденія тѣла).

Скорость возрастаетъ пропорціонально времени; пространство пропорціонально квадрату времени Пространства переходимыя послѣдовательно въ первую, вторую, третью и т. д... единицы времени относятся между собою какъ рядъ нечетныхъ чиселъ 1, 3, 5, 7, 9...

Если есть начальная скорость v_0 , то $v=v_0+gt$; $e=vt_0+\frac{gt^2}{2}$.

Формулы движениа равномерно замедленнаго: $v=v_0-gt$, $e=v_0t-\frac{gt^2}{2}$ (тѣло брошенное вертикально вверхъ).

23) Силы измѣряются 1) *статически*, по производимому натяжению или давлению; 2) *динамически*, по сообщаемому данной массѣ ускоренію. Формула $P=mg$, гдѣ m масса, g ускореніе. Въ

случаѣ падающаго тѣла $g=9,8$ метровъ. Если за единицу силы, измѣряемой статически, примемъ натяженіе производимое единицею вѣса, то чтобы въ предыдущей формулѣ вторая часть, будучи приведена въ числа, выражала то же что первая, — за единицу массы надлежитъ принять количество вещества заключающагося не въ единицѣ вѣса, а въ 9,8 единицахъ вѣса и масса килограмма должна считаться равною $\frac{1}{9,8}$. Чтобы избѣжать та-

кого искусственнаго представленія, принимаютъ (*абсолютное измѣреніе силъ*) за единицу массы количество вещества заключающагося въ единицѣ вѣса, за единицу же силы такую силу которая, дѣйствуя въ продолженіе секунды, произвела бы ускореніе равное 1 метру. Слѣд. единица силы въ 9,8 разъ меньше единицы вѣса, и вѣсъ килограмма равняется 9,8 единицамъ силы.

24) Вопросъ о дѣйствіи силы на тѣло движущееся не по ея направленію разрѣшается по второму закону движениа. Въ случаѣ круговаго движениа отъ силы направленной къ центру, величину этой *центростремительной* силы можно выразить формулою $F=m\frac{v^2}{r}$, гдѣ v скорость движениа, r радиусъ описываемаго круга. Если движеніе происходитъ вслѣдствіе препятствія, то эта величина выражаетъ давленіе на препятствіе или *центробѣжную* силу.

25) Работа силы дѣйствующей на тѣло равняется половинѣ произведеннаго ею приращенія живой силы. $P_h=\frac{mv^2}{2}-\frac{mv_0^2}{2}$.

Живая сила тѣла есть мѣра его *кинетической* энергіи; возможная работа дѣйствующей на него силы — мѣра его *потенціальной* энергіи.

26) Законы паденія тѣлъ выражаются формулами равноѣрно-ускореннаго движениа. Маятникъ главный инструментъ для из-

ченія тяжести на землѣ. Формула маятника: $t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, гдѣ l длина маятника, t время одного размаха.

27) Формулы скорости истеченія жидкости изъ отверстія $v=\sqrt{2gh}$, гдѣ h вертикальное разстояніе отверстія отъ уровня. При истеченіи изъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ обнаруживается сжатіе струи. Струя изъ капель.

ЗВУКЪ.

1) Звукъ есть ощущеніе доставляемое органомъ слуха. Звучащее тѣло находится въ состояніи дрожанія (струна, колыбель, діапазонъ, пластинка съ Хладіевыми фигурами). Звукъ въ воздухѣ и вообще тѣлахъ распространяется *волнообразно*. Движенію впередъ соответствуетъ *сжатая*,

движенію назадъ *разрѣженная* волна. Длина волны не зависитъ отъ величины размаха, а зависитъ отъ его времени. Въ безвоздушномъ пространствѣ звукъ не распространяется. Скорость звука въ воздухѣ (опредѣленная наблюденіемъ свѣта и звука отдаленнаго выстрѣла) есть 340 метровъ или 1100 футовъ въ секунду (при 16°; мѣняется отъ температуры, не мѣняется отъ давленія). Въ водѣ въ четверо, въ чугунѣ болѣе чѣмъ въ десятеро значительнѣе чѣмъ въ воздухѣ. Въ трубахъ звукъ распространяется безъ значительной потери; отъ препятствія отражается, производя эхо.

2) Впечатлѣніе музыкальнаго звука возбуждается *периодическимъ*, шума *непериодическимъ* сотрясеніемъ сообщаемымъ органу слуха.

Въ музыкальномъ звукѣ ухо различаетъ: *напряженіе, высоту и звучаніе или тимбръ*. Напряженіе зависитъ отъ величины размаховъ и не имѣетъ вліянія на число качаній. Высота зависитъ отъ числа колебаній и слѣдов. числа импульсовъ, получаемыхъ ухомъ въ данное время (чѣмъ выше звукъ тѣмъ болѣе колебаній; нормальный діапазонъ $1a$, 435 полныхъ, то-есть взадь и впередъ, или 870 простыхъ колебаній въ секунду); звучаніе или тимбръ (та же нота на разныхъ инструментахъ звучитъ неодинаково) зависитъ физически—оттого какъ происходитъ отдѣльный размахъ и какой потому имѣетъ видъ отдѣльная волна (оттого, при одинаковомъ числѣ, импульсы одного звука не таковы какъ импульсы другого) физиологически—отъ числа и напряженія гармоническихъ тоновъ сопровождающихъ основной тонъ. Число колебаній опредѣляется а) графическимъ способомъ (черченіе зигзаговъ остріемъ придѣланнымъ къ звучащему тѣлу); б) помощью сирены (звукъ образуется прерывистымъ истеченіемъ воздуха дающимъ толчки окружающему воздуху); в) помощью колеса Савара (зубчатое колесо даетъ толчки картѣ). Два звука въ *унисонѣ* соответствуютъ одинаковому числу колебаній и слѣд. одинаковому числу импульсовъ получаемыхъ ухомъ. Звукъ составляющій октаву другого производитъ въ то же время двойное число импульсовъ; въ случаѣ квинты (*sol*) отношеніе числа импульсовъ или числа колебаній есть $\frac{3}{2}$. Звуки, числа колебаній которыхъ вдвое, втрое, вчетверо и т. д. болѣе чѣмъ число колебаній даннаго звука, называются по отношенію къ нему *гармоническими*. Изслѣдуются *резонаторами*.

3) Чтобы опредѣлить длину звуковой волны, надо скорость звука раздѣлить на число колебаній. *Полная* волна соответствуетъ движенію взадь и впередъ и слѣд. состоитъ

изъ *сжатой* и *разрѣженной* частей; въ отдѣльности сжатая и разрѣженная части называются простыми волнами, соответственно простому колебанію взадь или впередъ; въ случаѣ сирены образованіе полной волны складывается изъ періода выбрасыванія воздуха и періода остановки. Длина волнъ соответствующихъ тому же числу колебаній различна въ разныхъ средахъ. Ящикъ закрытый съ одной стороны усиливаетъ звукъ если его длина около $\frac{1}{4}$ длины полной волны этого звука; открытый съ обѣихъ сторонъ, если $\frac{1}{2}$ полной волны.

4) Инструменты бываютъ струнные и духовые. Монохорды. Число колебаній струны обратно пропорціонально ея длинѣ. Колебанія цѣлой длиной и частями (помощію передачи чрезъ слабое препятствіе; на нити привязанной къ вѣтви діапазона; узлы, валы). Органныя трубы: звукъ порождается струею разбивающеюся объ остріе и усиливается трубкою, какъ ящикомъ или резонаторомъ. Оптическое изученіе колебаній діапазоновъ (опыты Лиссажу: діапазоны снабжаются зеркальцами и лучъ отраженный отъ одного діапазона падаетъ на зеркальце другого, поставленнаго перпендикулярно, и затѣмъ на экранъ; фигура въ родѣ восьми соответствуетъ октавѣ. Когда діапазоны въ унисонѣ — кругъ, эллипсисъ или прямая. Когда діапазоны разстроены фигура какъ бы вращается около оси).

5) Звукъ какъ ощущеніе. Въ ухѣ различаемъ: наружное ухо, барабанную полость, внутреннее ухо, гдѣ развѣтвленія нерва соединены съ тонкими разнообразными волокнами. Звучащее тѣло приводитъ въ созвучное дрожаніе тѣ волокна которыя способны колебаться съ нимъ въ унисонѣ. Колебанія волоконъ простыя; потому ухо ощущаетъ простые тоны, а сложные разлагаетъ на ихъ составные простые, дѣйствующія на соответствующія системы волоконъ (отсюда гармоническіе тоны сопровождающіе основной звукъ въ случаѣ если ощущеніе произведено сложнымъ импульсомъ). Два тона числа качаній которыхъ разнятся на n колебаній въ секунду даютъ n *біеній* въ продолженіи этого времени. Біенія причина прерывистаго ощущенія порождающаго диссонансъ. Если число біеній около 30—сильный диссонансъ, выше 130 вліяніе біеній не замѣтно.

Тепло и свѣтъ.

1. Дѣйствіе теплоты безъ измѣненія состоянія тѣлъ.

1) Постоянныя точки на термометрѣ: точка таянія льда и точка кипѣнія воды (при опредѣленіи послѣдней должно быть обращено вниманіе на давленіе; опредѣленіе дѣлается въ парѣ кипящей воды). Три термометрическія скалы: при таяніи льда у Цельзія и Реомюра 0° , у Фаренгейта 32° ; при точкѣ кипѣнія подъ давленіемъ 760 миллим. у Цельзія 100° , у Реомюра 80° , у Фаренгейта 212° . Нуль Фаренгейта при $-17,8$ Цельзія или $-14,2$ Реомюра. Формулы для перевода съ одной скалы на другую $R = \frac{1}{4}C$; $C = \frac{4}{3}R$; $C = \frac{5}{9}(F-32)$; $F = \frac{9}{5}C + 32$.

2) Дѣйствіе теплоты на тѣла двоякаго рода: а) безъ измѣненія состоянія тѣлъ—нагрѣваніе или повышеніе температуры, сопровождающееся обыкновенно расширеніемъ; б) съ измѣненіемъ состоянія тѣлъ: превращеніе изъ твердаго въ жидкое и газообразное и наоборотъ. Превращенія эти сопровождаются явленіями скрытой теплоты.

3) Нагрѣваніе тѣлъ происходитъ: а) чрезъ прикосновеніе—теплопроводность; б) дѣйствіемъ на разстояніи—лучистая теплота (сквозь пустоту, газы и вообще теплопроводныя тѣла); в) въ жидкихъ и газообразныхъ тѣлахъ также чрезъ смѣшеніе слоевъ—переносъ теплоты. Теплопроводность металлическихъ палочекъ или проволокъ сравниваютъ, покрывая ихъ слоемъ воску и нагрѣвая ихъ концы. Жидкости имѣютъ очень слабую теплопроводность. Наибольшая плотность воды при $+4^\circ$ Ц. Отъ $+4^\circ$ Ц. вода, и при нагрѣваніи и при охлажденіи, расширяется.

4) Коэффициентъ *кубическаго* расширенія есть дробь показывающая приращеніе единицы объема тѣла при возвышеніи температуры на одинъ градусъ. Коэффициентъ *линейнаго* расширенія есть дробь показывающая приращеніе единицы длины тѣла при возвышеніи температуры на одинъ градусъ (въ однородномъ тѣлѣ коэффициентъ кубическаго расширенія можно приблизительно принять равнымъ тройному линейному). Двучленъ $1+\alpha t$ называется *биномомъ расширенія*. Объемъ тѣла при какой-нибудь температурѣ равенъ объему при 0° *помноженному* на биномъ расширенія. Плотность при какой-нибудь температурѣ равняется плотности при 0° *поделенной* на биномъ расширенія. ($V = V_0(1+\alpha t)$; $D_t = \frac{D}{1+\alpha t}$), Коэффициентъ абсолютнаго расширенія ртути (независимо отъ сосуда, опредѣляется на

основаніи закона равновѣсія жидкостей неодинаковой плотности) есть $\frac{1}{5550}$.

5) Законъ равновѣсія жидкостей разной плотности позволяетъ привести къ 0° наблюдаемую при t° барометрическую высоту, ибо $H_t : H_0 = D : \frac{D}{1+\alpha t}$ или $H_0 =$

$H_t \cdot \frac{5550}{5550+t}$. Коэффициентъ расширенія разныхъ газовъ приблизительно одинаковъ и есть $\frac{1}{273}$ доля объема газа при 0° (постояненъ при всякой плотности и температурѣ газа: законъ Гей-Люссака). Всѣхъ кубическаго метра воздуха при давленіи H и температурѣ t° выражается формулою $p = 1,291 \text{ кл.} \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t}$ гдѣ 1,293 килограммовъ есть всѣхъ куб. метра воздуха при 0° и 760 миллим. давленія, $\alpha = \frac{1}{273}$, коэффициентъ расширенія воздуха.

6) *Единицею теплоты* называется количество теплоты потребное для нагрѣванія единицы вѣса (килограмма) воды отъ нуля на одинъ градусъ. *Удельною теплотою* называется количество теплоты потребное для нагрѣванія единицы вѣса даннаго тѣла на одинъ градусъ. (Удельная теплота воды есть единица; большинства другихъ тѣлъ дробь). Если всѣхъ даннаго тѣла есть m , удѣльная теплота s , то произведеніе ms или *приведенное къ еодн. количество* тѣла выражаетъ всѣхъ воды, доставляющей и принимающей, при тѣхъ же условіяхъ температуры то же количество теплоты какъ данное тѣло.

7) Если смѣшать m килогр. воды при t° съ m' килогр. при t'° , то температура смѣси x будетъ $x = \frac{mt + m't'}{m + m'}$ (ибо масса m , если допустимъ что t больше t' , доставляетъ $m(t-x)$ единицъ теплоты; масса m' принимаетъ $m'(x-t')$ тѣла, и эти величины равны) Если m килограммовъ тѣла, искомая удѣльная теплота котораго есть x , опустить при T° въ M килограммовъ воды при 0° , то температуру смѣси найдемъ по той же формулѣ, если m приведемъ къ водѣ, то-есть замѣнимъ величиною mx . Будемъ имѣть $t = \frac{mxT + M\theta}{mx + M}$ или $mx(T-t) = M(t-\theta)$, откуда легко найти x . Чтобы обратитъ вниманіе на металлическія стѣнки калориметра, надо вмѣсто M взять $M+m's$, гдѣ m' всѣхъ вещества калориметрическаго сосуда, s его удѣльная теплота. Формула бу-

деть $m\alpha(T-t) = (M+m'c)(t-\theta)$. Чтобы опредѣлить c надо сдѣлать опытъ, погружая въ калориметръ кусокъ того самаго матеріала изъ котораго сдѣланъ сосудъ калориметра; тогда $x=c$, и будемъ имѣть уравненіе съ однимъ неизвѣстнымъ.

II. Дѣйствія тепла съ измѣненіемъ состоянія тѣлъ.

8) О *скрытой теплотѣ плавленія* свидѣлствуютъ а) медленность таянія льда и постоянство температуры таянія (опытъ съ нагрѣваніемъ въ одинаковыхъ условіяхъ равнаго вѣса льда и воды взятыхъ при 0°); б) значительность охлажденія воды при погруженіи куска льда въ ней растаивающаго; в) нагрѣваніе воды при замерзаніи, если первоначально она была въ жидкомъ видѣ охлаждена ниже точки замерзанія. Дѣйствіе охлаждающихъ смѣсей объясняется скрытой теплотой. Скрытая теплота таянія льда есть 79,3 единицы тепла. Вода, преобразуясь въ ледъ, расширяется.

9) О *скрытой теплотѣ парообразованія* свидѣлствуютъ 1) медленность, съ какою доведенная до кипѣнія вода превращается въ паръ до суха (въ шестеро долже чѣмъ нагрѣваніе до кипѣнія); 2) постоянство точки кипѣнія; 3) значительность количества теплоты выделяемой паромъ при сгущеніи въ жидкое состояніе. Скрытая теплота парообразованія въ случаѣ воды при температурѣ кипѣнія подъ атмосфернымъ давленіемъ, то-есть количество тепла потребное для того чтобы килограммъ воды при 100° обратить въ паръ при той же температурѣ, есть 537 единицъ теплоты (слѣд. 637 единицъ потребно чтобы килограммъ воды при 0° обратить въ паръ при 100° , нагрѣвъ воду въ жидкомъ видѣ до 100° и потомъ кипѣніемъ выпаряя); это *полная теплота* парообразованія при 100° . Холодъ при испареніи (опытъ Лесли) объясняется скрытою теплотою парообразованія.

10) Жидкость обращается въ паръ: 1) вообще испареніемъ въ воздухъ и газахъ медленно, въ пустотѣ быстро; 2) *кипѣніемъ*, которое есть испареніе въ особыхъ условіяхъ характеризующееся образованіемъ *пузырей*. Чтобы внутри жидкой массы могъ образоваться пузырь ея пара, температура должна быть такова чтобы соответствующая этой температурѣ упругость пара превысила давленіе атмосферны плюс давленіе столба жидкости надъ мѣстомъ образованія пузыря, а слѣд. при самой поверхности равнялась

давленію подѣ какимъ происходитъ кипѣніе. Такимъ образомъ упругость пара подымающагося отъ кипящей жидкости равна давленію подѣ какимъ кипѣніе происходитъ (этимъ пользуются для опредѣленія упругости пара при высокихъ температурахъ).

11) Газообразная тѣла бываютъ: а) газы собственно; ихъ можно разсматривать какъ пары далекіе отъ точки насыщенія; 2) пары, — которые можно разсматривать какъ газы близкіе къ точкѣ насыщенія. Паръ есть такое состояніе газа когда онъ при нѣкоторомъ охлажденіи или сжатіи частью обращается въ жидкое состояніе. Газы подчиняются закону Маріотта. Пары также подчиняются, но съ ограниченіемъ: при каждой температурѣ паръ имѣетъ свой предѣлъ упругости (наибольшая упругость, упругость насыщенія) выше котораго паръ не можетъ быть сжатъ и при продолжающемся уменьшеніи объема постепенно весь обращается въ жидкое состояніе. Если жидкость помѣщена въ пустотѣ, она быстро испаряется, и паръ немедленно достигаетъ максимумъ упругости, соответствующей температурѣ опыта. Въ двухъ соображающихся пространствахъ разной температуры устанавливается упругость, соответствующая холодному пространству, и жидкость вся дистиллируется при этомъ въ холодное пространство. Наибольшая упругость какая можетъ быть достигнута паромъ въ воздухѣ и газахъ такова же какъ въ пустотѣ, но парообразование происходитъ медленно.

Газъ, если температура его не превышаетъ извѣстнаго предѣла, можетъ быть чрезъ сдавленіе обращаемъ въ жидкое состояніе (предѣлъ для углекислоты около 31° ; для газовъ которые какъ кислородъ, азотъ, водородъ не могли быть приведены въ жидкое состояніе, предѣлъ, надо полагать, находится весьма низко; для газообразнаго состоянія воды и другихъ жидкостей, напротивъ того, весьма высоко).

12) Чтобы опредѣлить упругость насыщенія при разныхъ температурахъ употребляютъ а) для среднихъ температуръ — барометрическую методу Дальтона (паръ образуется въ Торричеллиевой пустотѣ; б) для низкихъ — охлажденіе загнутой верхушки барометрической трубки съ паромъ; в) для высокихъ — кипѣніе при разныхъ давленіяхъ (упругость пара при кипѣніи равна давленію, при какомъ кипѣніе производится).

13) На свойствѣ пара, находящагося въ прикосновеніи съ избыткомъ жидкости, приобретаемъ при нагрѣваніи до высокой температуры упругость многихъ атмосферъ и быстро

терять ее чрезъ сообщеніе съ холоднымъ пространствомъ основывается употребленіе пара какъ двигателя въ паровой машинѣ. Машина Уатта съ двойнымъ дѣйствіемъ и холодильникомъ (низкаго давленія); безъ холодильника, когда паръ выходитъ въ воздухъ (высокаго давленія).

14) *Влажностію* воздуха называется отношеніе того количества пара какое есть въ данномъ объемѣ воздуха къ тому какое заключалось бы въ этомъ объемѣ въ случаѣ насыщенія. Отношеніе этихъ количествъ равно отношенію упругости какую въ данномъ случаѣ имѣетъ паръ къ той которая соотвѣтствуетъ насыщенію при температурѣ опыта. Влажность опредѣляется а) помощью химической методу осушенія даннаго объема воздуха, б) помощью сравненія температуръ сухаго и мокраго термометра (психрометръ); в) помощью наблюденія точки росы (гигрометръ Даниеля и Ренью); д) помощью гигроскопическихъ тѣлъ (волося въ гигроскопѣ Соссюра).

15) Водяные осадки въ атмосферѣ суть туманъ и облака, дождь, снѣгъ и градъ; роса и иней—слѣдствіе охлажденія тѣла, путемъ лучеиспусканія, ниже температуры омывающаго ихъ воздуха.

III. Механическая теорія теплоты.

16) Механическая работа можетъ порождать теплоту и теплота работу. Механическій эквивалентъ теплоты есть количество работы какую производитъ, преобразуясь въ работу, единица теплоты (425 килограмметровъ). Опыты съ треніемъ (Румфордъ, Джоуль) представляютъ случай перехода механической работы въ теплоту и могутъ служить къ опредѣленію эквивалента. Теплота переходитъ въ работу, напримѣръ въ паровой машинѣ. При этомъ теплота отъ тѣла высокой температуры переходитъ къ тѣлу низкой температуры; утраченная при переходѣ часть преобразуется въ работу (аналогія съ водянымъ колесомъ; но тамъ количество воды воды остается неизмѣннымъ). Энергія бываетъ кинетическая (энергія движенія) и *потенціальная* (энергія положенія). Тепло есть частичная кинетическая энергія тѣла.

IV. Лучистыя явленія.

17) *Прямолинейное распространеніе свѣта* доказы-

вается а) образованіемъ тѣни; б) образованіемъ изображеній въ темной комнатѣ чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ.

18) *Сила освѣщенія* опредѣляется а) чрезъ сравненіе тѣней; б) чрезъ освѣщеніе экрана, котораго одна часть прозрачна остальную и который сзади освѣщается нѣкоторымъ постояннымъ источникомъ. Измѣривъ разстояніе сравниваемыхъ источниковъ отъ соотвѣствующихъ тѣней въ первомъ случаѣ и отъ экрана (когда исчезаетъ видимая разница частей экрана) во второмъ, надо разстоянія возвести въ квадратъ чтобы найти искомое отношеніе (ибо сила освѣщенія уменьшается пропорціонально квадрату разстоянія). Силу освѣщенія не должно смѣшивать съ видимою яркостію источника.

19) *Законы отраженія*: а) уголъ паденія и уголъ отраженія находятся въ одной плоскости (иначе: лучъ падающій и лучъ отраженный находятся въ одной плоскости съ перпендикуляромъ паденія); б) уголъ паденія равенъ углу отраженія. Углами паденія и отраженія именуются углы луча съ перпендикуляромъ паденія; перпендикуляръ паденія въ случаѣ сферической поверхности есть радіусъ.

20) Лучи выходящіе изъ одной точки *S* послѣ отраженія отъ *плоскаго зеркала* идутъ такъ какъ если бы выходили изъ точки лежащей на перпендикулярѣ опущенномъ изъ *S* на зеркало и находящейся за зеркаломъ на такомъ разстояніи на какомъ точка *S* находится передъ зеркаломъ. Этимъ объясняется образованіе изображеній (мнимыхъ) въ плоскомъ зеркалѣ; изображеніе *симметрично* предмету. Лучи солнца отраженные отъ зеркала освѣщаютъ такъ какъ если бы за зеркаломъ было солнце симметричное съ настоящимъ, а вѣсто зеркала было отверстіе.

21) Лучи выходящіе изъ одной точки *S* по отраженіи отъ вогнутого сферическаго зеркала идутъ какъ если бы они *приблизительно* выходили изъ одной точки называемой *сопряженнымъ фокусомъ* или *изображеніемъ* точки *S* (такъ какъ отраженный пучокъ не есть строго коническій, то происходитъ *сферическая абберрація*, причина неясности изображеній).

Лучи выходящіе изъ точки *S*, лежащей на оси зеркала (ось зеркала есть линія проходящая чрезъ центръ и середину зеркала) на разстояніи *d* отъ вершины, по отраженіи соединяются въ фокусъ на разстояніи *f* отъ зеркала, опредѣляемомъ изъ формулы $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$, гдѣ *r* раді-

усть зеркала. При $d = \infty$, $\frac{1}{F} = \frac{2}{r}$; $F = \frac{r}{2}$ (гдѣ буквою F называли f для этого случая). Въ главномъ фокусѣ сходятся параллельные лучи; получается изображеніе солнца. Отсюда $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$, одна изъ главныхъ формулъ оптики.

22) Вопросъ объ изображеніи точки внѣ оси, лежащей разрѣшается проведеніемъ *побочной* оси (то-есть линіи чрезъ точку откуда идутъ лучи и центръ зеркала).

Если на разстояніи d отъ вогнутого зеркала находится цѣлый предметъ въ плоскости перпендикулярной оси, то изображеніе каждой его точки будетъ на соответствующей этой точкѣ побочной оси въ разстояніи f отъ зеркала. Плоскость проведенная въ разстояніи f отъ вершины зеркала перпендикулярно къ оси пересѣчетъ всѣ конусы отраженныхъ лучей приблизительно при ихъ вершинахъ и слѣдов. приметъ изображеніе всего предмета. Изображеніе находится въ углѣ образуемомъ линіями проведенными отъ вершины и основанія предмета чрезъ центръ зеркала (изъ центра зеркала изображеніе и предметъ представляются подѣ одинаковымъ угломъ). Изображеніе верхней точки внизу, слѣдов. вообще обратное. Чтобы графически построить изображеніе предмета, достаточно найти изображеніе одной его точки (плоскость проведенная чрезъ это изображеніе перпендикулярно оси будетъ заключать въ себѣ изображенія и всѣхъ другихъ точекъ въ мѣстахъ пересѣченія побочныхъ осей съ этою плоскостію). А чтобы найти изображеніе одной точки достаточно найти пересѣченіе двухъ лучей изъ нея выходящихъ (ибо гдѣ пересѣкутся эти два тамъ и всѣ другіе). Такими лучами удобно выбрать: идущій чрезъ центръ (отражается по своему направленію) и проходящій параллельно оси (по отраженіи проходитъ чрезъ главный фокусъ, то-есть средину радіуса). Если предметъ на большомъ разстояніи то изображеніе въ главномъ фокусѣ малое, обратное; если на двойномъ фокусномъ, то-есть въ центрѣ зеркала, то изображеніе совпадаетъ съ предметомъ и есть обратное, равной съ нимъ величины; если предметъ между двойнымъ и простымъ фокусными разстояніями, то изображеніе, обратное и увеличенное, можетъ быть принято на экранъ надлежаще удаленный. Если предметъ ближе главнаго фокуса, то изображеніе *мнимое*.

23) Отъ солнца и источниковъ высокой температуры идутъ вообще лучи: а) темные лучи теплоты; б) лучи, кромѣ

способности грѣть, имѣющіе способность свѣтить—свѣтлые лучи теплоты (тѣ и другіе высокой температуры). Отъ источниковъ не высокой температуры идутъ лишь темные лучи теплоты. Всѣ эти лучи отражаются по одинаковымъ законамъ. Доказательство помощью вогнутыхъ зеркалъ (взвѣсившееся отраженіе холода).

Вообще падающіе на поверхность тѣла лучи а) отражаются правильнымъ отраженіемъ; б) разсѣваются неправильнымъ отраженіемъ; в) входятъ въ тѣло и, поглощаясь имъ, нагреваютъ его. Поглощенная и нагревающая тѣло теплота имъ въ свою очередь лучеиспускается. Лучи при отраженіи и разсѣянніи не измѣняются по отношенію къ числу колебаній или преломляемости; при новомъ испусканіи послѣ поглощенія, мѣняются. Въ данной системѣ тѣлъ, чрезъ взаимное лучеиспусканіе, устанавливается равновѣсіе теплоты. При вая температура или подвижное равновѣсіе теплоты. При этомъ каждое тѣло въ данное время сколько получаетъ теплоты столько и отдаетъ. Отдаетъ а) чрезъ отраженіе (правильное и разсѣянное) нѣкоторое количество B ; б) чрезъ собственное испусканіе количество C . Должно быть $B + C = A$, гдѣ A принимаемое количество. Отраженіе и испусканіе взаимно пополняются: чѣмъ одно больше тѣмъ другое меньше. Лучепоглощеніе и лучеиспусканіе одинаковы: тѣло способное болѣе испускать способно и болѣе поглощать (полированные поверхности, сажею покрытыя и т. д.). Инструменты: дифференціальныи термометръ, столбецъ Меллони.

24) *Законы преломленія*. 1) Уголъ паденія и уголъ преломленія находятся въ одной плоскости (иначе: лучъ падающій и лучъ преломленный находятся въ одной плоскости съ перпендикуляромъ паденія); 2) синусъ угла паденія къ синусу угла преломленія находится въ постоянномъ отношеніи, называемомъ показателемъ преломленія: $\frac{\sin i}{\sin r} = n$.

Для малыхъ угловъ $\frac{i}{r} = n$. Въ случаѣ перехода изъ воздуха въ воду $n = \frac{4}{3}$; въ случаѣ стекла $n = \frac{3}{2}$. Лучъ перпендикулярно падающій не преломляется. Лучъ входя въ болѣе преломляющую среду приближается къ перпендикуляру; входя въ менѣе преломляющую удаляется отъ перпендикуляра. Если показатель при переходѣ изъ среды A въ среду B есть n , то при переходѣ изъ среды B въ среду A онъ есть $\frac{1}{n}$ (изъ воды въ воздухъ $\frac{1}{n} = \frac{3}{4}$, изъ стекла $\frac{1}{n} = \frac{2}{3}$).

25) *Полное внутреннее отражение*. Если угол падения $i = 90^\circ$, то угол преломления r найдется из условия

$$\frac{1}{\sin r} = n, \text{ или } \sin r = \frac{1}{n}. \text{ Угол } r \text{ есть } \textit{угол предѣла} \text{ (въ}$$

случаѣ воды $r = 48^\circ 27'$, въ случаѣ стекла $r = 41\frac{1}{2}^\circ$). Если при выходѣ изъ среды болѣе преломляющей (напримѣръ изъ стекла или воды въ воздухъ) уголъ паденія внутри среды равенъ углу-предѣлу, то лучъ выйдетъ по самой поверхности; если сколько-нибудь болѣе, то не выйдетъ: произойдетъ *полное внутреннее отраженіе*; напримѣръ, въ прямоугольной призмѣ). И при углѣ, внутри среды, меньшемъ предѣла также есть отраженіе, но вообще слабое.

26) *Преломленіе въ средѣ съ параллельными стѣнками*. Лучъ пройдя чрезъ одинъ или нѣсколько преломляющихъ слоевъ съ параллельными стѣнками, выходитъ параллельно своему начальному направленію (опредѣленіе относительнаго показателя преломленія). Лучъ, пройдя чрезъ призму, отклоняется къ ея основанію, то-есть толстому концу.

27) *Стекла или линзы* бываютъ 1) собирающія (толще въ серединѣ), 2) разсѣвающія (толще къ краямъ). Собирающее стекло даетъ дѣйствительныя изображенія, подобно вогнутому зеркалу. Теорія изображеній вполне сходна, причѣмъ *оптический центръ* стекла (приблизительно лежащій въ серединѣ его толщины) играетъ ту же роль какъ геометрический *центръ* зеркала. Изображеніе обратное, по другую сторону стекла. Оптический центръ имѣетъ то свойство что направленный къ нему лучъ проходитъ не преломляясь (вліяніе толщины стекла пренебрегается). Мѣсто

позображенія опредѣляется формулою $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$; величина—угломъ проведеннымъ отъ вершины п основанія предмета, чрезъ оптический центръ стекла. Чтобы графически построить изображеніе, надлежитъ изъ какой-нибудь точки предмета провести два луча: одинъ параллельный оси, другой направленный къ оптическому центру стекла; первый, по преломленію, пройдетъ чрезъ главный фокусъ (положеніе котораго предполагается извѣстнымъ,—опредѣленнымъ, напримѣръ, чрезъ выставленіе стекла перпендикулярно лучамъ солнца и нахожденіе мѣста гдѣ они сходятся), другой пройдетъ безъ преломленія. Гдѣ они пересѣкутся будетъ изображеніе точки. Плоскость проведенная чрезъ это мѣсто перпендикулярно оси будетъ заключать въ себѣ изображеніе всего предмета.

28) Инструменты основанные на употребленіе собирающа-

го стекла въ качествѣ дающаго изображеніе на экранѣ суть: 1) камера-обскура, столь важная въ фотографіи; 2) волшебный фонарь; солнечный микроскопъ.

29) *Глазъ*. Въ глазѣ различаемъ части: *sclerotica*, *choroidea*, *retina*; *cornea*, радужная перепонка съ зрачкомъ, хрусталикъ; водянистая и стекловидная влаги. Желтое пятно, слѣзное пятно. Глазъ въ оптическомъ отношеніи есть камера ограниченная выпуклою поверхностію и наполненная прозрачною средою, показатель преломленія которой равенъ показателю воды. Можетъ быть сравниваемъ и съ обыкновенною камеръ-обскурою. Хрусталикъ усиливаетъ преломленіе (изображеніе было бы далѣе ретины); помощію его достигается приспособленіе глаза (передняя кривизна хрусталика, при наблюденіи близкихъ предметовъ, усиливается). Глазъ имѣетъ очень большое поле зрѣнія, но изображеніе отчетливо лишь въ малой центральной части ретины, гдѣ нервная оболочка особенно чувствительна. Сохраненіе впечатлѣній (вращающееся колесо, освѣщеніе электрическою искрою). Зрѣніе есть психическій актъ составленія картины внѣшняго міра; предметы не кажутся верхъ ногами, хотя таково ихъ изображеніе, ибо мы научились находить ихъ истинное положеніе въ пространствѣ.

30) *Наблюденіе глазомъ дѣйствительныхъ и мнимыхъ оптическихъ изображеній образованныхъ путемъ отраженія*. а) Не ставя экрана, можно глазомъ наблюдать *дѣйствительное, воздушное*, изображеніе, доставляемое вогнутымъ зеркаломъ, если помѣстимъ глазъ такъ что въ него будутъ попадать лучи изъ точекъ служащихъ изображеніями соответствующихъ точекъ предмета. б) *Мнимыя* изображенія (не пролагающіеся на экранъ, а наблюдаемыя только глазомъ) представляются: *плоскимъ* зеркаломъ на на томъ же разстояніи какъ предметъ и въ симметричномъ положеніи; *вогнутымъ*—за зеркаломъ въ прямомъ увеличенномъ видѣ и далѣе чѣмъ предметъ (разстояніе f по формулѣ $\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$); *выпуклымъ*—въ прямомъ маломъ видѣ ближе половины радіуса зеркала (по формулѣ $\frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$). Близорукій ясно видитъ отраженіе въ выпукломъ зеркалѣ. Въ каплѣ ртути отраженный ландшафтъ можно разсматривать въ микроскопѣ.

31) *Наблюденіе изображеній, образованныхъ путемъ преломленія*. а) Чрезъ одну преломляющую поверхность предметъ кажется поднявшимся; палка въ водѣ преломлен-

36) *Катоптрические телескопы*, — съ вогнутымъ зеркаломъ. Телескопы Ньютона, Гершеля, Фуко.

37) *Сложенный микроскопъ*. Объективъ—стекло съ короткимъ фокусомъ; окуляръ обыкновенно негативный. Увеличение равно произведенію увеличенія объектива на увеличеніе окуляра.

38) *Скорость свѣта*, по способу Ремера, опредѣлена чрезъ наблюденіе затмений спутниковъ Юпитера. Когда земля приближается, погруженія спутника въ тѣнь слѣдуютъ одно за другимъ скорѣе чѣмъ какъ слѣдуютъ выходенія изъ тѣни когда земля удаляется. Свѣтъ въ секунду проходитъ 290 000 верстъ (300 000 километровъ). Отъ солнца до земли въ 8 м. 13 с.: Физо опредѣлилъ скорость свѣта прямымъ опытомъ на землѣ.

39) *Разнородность лучей. Образованіе спектра*. Пропустивъ пучокъ солнечныхъ лучей чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ и преломивъ его призмой, Ньютонъ получилъ вмѣсто круглаго изображенія солнца,—какъ бы требовала теорія если допустить что всѣ лучи имѣютъ одинаковый показатель преломленіе,—изображеніе продолговатое, радужное, съ закругленными краями (спектръ). Объяснилъ разногласіе теоріи и опыта тѣмъ что 1) лучи имѣютъ не одинакую преломляемость, 2) что лучи разной преломляемости возбуждаютъ ощущеніе разныхъ цвѣтовъ: наименѣе преломляющіеся краснаго, наиболѣе преломляющіеся фіолетоваго. Ощущеніе же бѣлаго цвѣта сложное. Что лучи разныхъ призматическихъ цвѣтовъ преломляются разное доказываетъ опытъ „съ перекрестными призмами“; что бѣлый цвѣтъ происходитъ отъ смѣшенія цвѣтовъ—опытъ съ вращающимся дискомъ раздѣленнымъ на секторы радужныхъ цвѣтовъ.

40) *Спектръ на экранѣ и спектръ наблюдаемый глазомъ*. Спектръ можно произвести объективно на экранѣ: а) въ случаѣ солнечныхъ лучей: пропустивъ пучекъ чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ и перемѣстивъ изображение преломленіемъ пучка въ призмѣ, или пропустивъ лучи чрезъ круглое отверстіе или щель помѣщенные (Ньютонъ) на двойномъ фокусномъ разстояніи отъ стекла съ длиннымъ фокусомъ и изображеніе, какое стекло стремится произвести, перемѣстивъ помощью призмы, за стекломъ поставленной; б) въ случаѣ электрическаго фонаря и вообще лампы, — пропустивъ лучи чрезъ діафрагму съ круглымъ отверстіемъ или щелью, поставивъ на пути ихъ пролагающее стекло и перемѣстивъ изображеніе призмой. Спектръ происходитъ отъ

сопомѣшенія изображеній производимыхъ системами лучей разной преломляемости. Для чистоты спектра каждое изображение должно по возможности не смѣшиваться съ со-сѣднимъ.

с) *Субъективный спектръ*, то-есть наблюдаемый прямо глазомъ, получаемъ смотря глазомъ чрезъ призмѣ на узкую щель помѣщенную предъ источникомъ свѣта. Лучше: передъ щелью поставить собирающее стекло такъ чтобы она была въ его фокусѣ; будемъ имѣть какъ бы очень отдаленную узкую щель доставляющую лучи. На эту щель будемъ смотрѣть чрезъ призмѣ, поставивъ предъ глазомъ зрительную трубу и наблюдая такимъ образомъ отклоненное призмой и преобразованное въ спектръ изображеніе щели (такой снарядъ изъ двухъ трубъ съ призмой между ними есть *спектроскопъ*).

41) Кромѣ призмы цвѣтные лучи доставляются 1) цвѣтными средами, 2) поверхностями цвѣтныхъ предметовъ. Эти цвѣтные лучи обыкновенно сложные, хотя глазъ простой цвѣтной лучъ не отличаетъ отъ сложнаго того же цвѣтнаго оттѣнка. Чрезъ призмѣ переходы отъ свѣта къ тѣни представляются радужно окаймленными; а широкія бѣлыя поверхности остаются бѣлыми. Лучи разной преломляемости соотвѣтствуютъ въ акустикѣ тонамъ разной высоты.

42) Спектры бываютъ трехъ родовъ: 1) сплошной—отъ раскаленныхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ (или очень егущенныхъ газовъ). 2) Спектръ втораго рода, изъ отдѣльныхъ цвѣтныхъ полосъ раздѣленныхъ значительными темными промежутками—спектръ раскаленныхъ газовъ и паровъ (отъ пламени горѣлки Бунзена, когда въ нее введена соль натрія, калия или иного металла; отъ углей электрическаго фонаря, если на нижній, широкій, положенъ кусочекъ металла; отъ Гейслеровыхъ трубокъ съ разрѣженными газами, свѣтящимися при проходящемъ токтъ; отъ электрической искры извлекаемой изъ разныхъ металловъ). На изученіи такихъ спектровъ основывается спектральный анализъ. с) Спектръ съ узкими темными полосками или линиями. Таковъ солнечный спектръ съ Фраунгоферовыми линиями. Это есть спектръ, поглощенія, образующійся когда лучи отъ источника очень высокой температуры, который далъ бы сплошной спектръ проходить чрезъ менѣе свѣтящуюся атмосферу, содержащую въ газообразномъ состояніи разныя тѣла. Эта атмосфера поглощаетъ тѣ самыя лучи какіе испускаютъ, свѣтясь, находящаяся въ ней тѣла. Но такъ какъ свѣтъ испускаемый атмосферой слабъ сравнительно съ свѣтомъ

36) *Катоптрические телескопы*, — съ вогнутымъ зеркаломъ. Телескопы Ньютона, Гершеля, Фуко.

37) *Сложный микроскопъ*. Объективъ — стекло съ короткимъ фокусомъ; окуляръ обыкновенно негативный. Увеличение равно произведению увеличения объектива на увеличение окуляра.

38) *Скорость свѣта*, по способу Ремера, опредѣлена чрезъ наблюдение затмений спутниковъ Юпитера. Когда земля приближается, погруженія спутника въ тѣнь слѣдуютъ одно за другимъ скорѣе чѣмъ какъ слѣдуютъ выходения изъ тѣни когда земля удаляется. Свѣтъ въ секунду проходитъ 290 000 верстъ (300 000 километровъ). Отъ солнца до земли въ 8 м. 13 с.: Физо опредѣлилъ скорость свѣта прямымъ опытомъ на землѣ.

39) *Разнородность лучей. Образованіе спектра*. Пропустивъ пучокъ солнечныхъ лучей чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ и преломивъ его призмой, Ньютонъ получилъ вмѣсто круглаго изображенія солнца, — какъ бы требовала теорія если допустить что всѣ лучи имѣютъ одинаковый показатель преломленія, — изображение продолговатое, радужное, съ закругленными краями (спектръ). Объяснили разногласіе теорій и опыта тѣмъ что 1) лучи имѣютъ не одинакую преломляемость, 2) что лучи разной преломляемости возбуждаютъ ощущение разныхъ цвѣтовъ: наименѣе преломляющіеся краснаго, наиболѣе преломляющіеся фіолетоваго. Ощущеніе же бѣлаго цвѣта сложное. Что лучи разныхъ призматическихъ цвѣтовъ преломляются разнo доказываетъ опытъ „съ перекрестными призмами“; что бѣлый цвѣтъ происходитъ отъ смѣшенія цвѣтовъ — опытъ съ вращающимся дискомъ раздѣленнымъ на секторы радужныхъ цвѣтовъ.

40) *Спектръ на экранѣ и спектръ наблюдаемый глазомъ*. Спектръ можно произвести объективно на экранѣ: а) въ случаѣ солнечныхъ лучей: пропустивъ пучекъ чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ и перемѣстивъ изображение преломленіемъ пучка въ призмѣ, или пропустивъ лучи чрезъ круглое отверстіе или щель помѣщенные (Ньютонъ) на двойномъ фокусномъ разстояніи отъ стекла съ длиннымъ фокусомъ и изображение, какое стекло стремится произвести, перемѣстивъ помощью призмы, за стекломъ поставленной; б) въ случаѣ электрическаго фонаря и вообще лампы, — пропустивъ лучи чрезъ діафрагму съ круглымъ отверстіемъ или щелью, поставивъ на пути ихъ пролагающее стекло и перемѣстивъ изображение призмой. Спектръ происходитъ отъ

сопомѣшенія изображеній производимыхъ системами лучей разной преломляемости. Для чистоты спектра каждое изображение должно по возможности не смѣшиваться съ со-
сѣдними.

с) *Субъективный спектръ*, то-есть наблюдаемый прямо глазомъ, получаемъ смотря глазомъ чрезъ призму на узкую щель помѣщенную предъ источникомъ свѣта. Лучше: передъ щелью поставить собирающее стекло такъ чтобы она была въ его фокусѣ; будемъ имѣть какъ бы очень отдаленную узкую щель доставляющую лучи. На эту щель будемъ смотрѣть чрезъ призму, поставивъ предъ глазомъ зрительную трубу и наблюдая такимъ образомъ отклоненное призмой и преобразованное въ спектръ изображение щели (такой снарядъ изъ двухъ трубъ съ призмой между ними есть *спектроскопъ*).

41) Кромѣ призмы цвѣтные лучи доставляются 1) цвѣтными средами, 2) поверхностями цвѣтныхъ предметовъ. Эти цвѣтные лучи обыкновенно сложные, хотя глазъ простой цвѣтной лучъ не отличаетъ отъ сложнаго того же цвѣтнаго оттѣнка. Чрезъ призму переходы отъ свѣта къ тѣни представляются радужно окаймленными; а широкія бѣлыя поверхности остаются бѣлыми. Лучи разной преломляемости соответствуютъ въ акустикѣ тонамъ разной высоты.

42) Спектры бываютъ трехъ родовъ: 1) сплошной — отъ раскаленныхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ (или очень егущенныхъ газовъ). 2) Спектръ втораго рода, изъ отдѣльныхъ цвѣтныхъ полосъ раздѣленныхъ значительными темными промежутками — спектръ раскаленныхъ газовъ и паровъ (отъ пламени горѣлки Бунзена, когда въ нее введена соль натрія, калия или иного металла; отъ углей электрическаго фонаря, если на нижній, широкій, положенъ кусочекъ металла; отъ Гейсеровыхъ трубокъ съ разрѣженными газами, свѣтящимися при проходящемъ токѣ; отъ электрической искры извлекаемой изъ разныхъ металловъ). На изученіи такихъ спектровъ основывается спектральный анализъ. с) Спектръ съ узкими темными полосками или линіями. Таковъ солнечный спектръ съ Фраунгоферовыми линіями. Это есть спектръ, поглощенія, образующійся когда лучи отъ источника очень высокой температуры, который далъ бы сплошной спектръ проходить чрезъ менѣе свѣтящуюся атмосферу, содержащую въ газообразномъ состояніи разныя тѣла. Эта атмосфера поглощаетъ тѣ самыя лучи какіе испускаютъ, свѣтятся, находящіяся въ ней тѣла. Но такъ какъ свѣтъ испускаемый атмосферою слабъ сравнительно съ свѣтомъ

источника, то мѣста поглощенія кажутся темными хотя и освѣщены слабымъ свѣтомъ спектра атмосферы. На изученіи темныхъ линій спектра основывается приложеніе спектральнаго анализа къ изслѣдованію состава атмосферы солнца и звѣздъ.

43) Гершель открылъ что за предѣлами видимаго спектра (за краснымъ цвѣтомъ) находятся темные лучи теплоты. Ихъ можно отдѣлить отъ свѣтлыхъ, по методѣ Тиндаля, помощію раствора іода въ сѣрнистомъ углеродѣ. Раскаленіе и сожиганіе темными лучами Тиндаль называлъ явленіемъ *калоресценции*. Спектръ нормальный въ термическомъ отношеніи, производится призмю и линзою изъ каменной соли.

44) Разнородность лучей теплоты Меллонн доказалъ помощію термо-электрическаго столба. Разныя тѣла, одинаково прозрачныя, не въ одинаковомъ количествѣ пропускаютъ лучи отъ разныхъ источниковъ. Каменная соль тѣло по преимуществу теплопрозрачное. Квасцы пропускаютъ лучи свѣтлые и задерживаютъ темные (особенно невысокой температуры). Темные лучи (высокой температуры) проходятъ черезъ черное стекло. Для лучей прошедшихъ (какъ бы процеженныхъ) черезъ одну пластинку, другая такая пластинка теплопрозрачна какъ каменная соль (подобно тому какъ для лучей прошедшихъ черезъ красное стекло другое красное стекло не отличается отъ вполне прозрачнаго).

45) Ультра-фіолетовые или химическіе лучи тѣ которые находятся за предѣлами фіолетоваго цвѣта. Видимы, хотя очень слабо. Если въ химическіе лучи, или въ фіолетовые, внести кусокъ стекла окрашеннаго окисью урана или растворомъ хинина, а также коштановой коры, то тѣла эти свѣтятся фосфорическимъ свѣтомъ. Явленіе *флуоресценція*.

46) Фотографія изъ двухъ операций: приготовленіе негатива и снятіе позитива. Негативъ производится на стеклѣ покрытомъ коллодіумомъ, заключающемъ въ себѣ іодистый потассій. Такая пластинка погружается въ ванну съ азотнокислымъ серебромъ (лапись): въ слѣѣ коллодіума образуется іодистое серебро съ избыткомъ азотнокислаго серебра. Если подвергнуть пластинку въ камеръ-обскуръ дѣйствию свѣта, то получающія свѣтъ мѣста претерпятъ, невидимое вначалѣ, измѣненіе. Если облить затѣмъ пластинку растворомъ сѣрниокислаго желѣза (желѣзный купоросъ) или пирогалловой кислотой, то серебро осѣдаетъ на мѣстахъ гдѣ дѣйствовалъ свѣтъ; получается негативъ. Остатокъ солей смывается сѣрноватисто-кислою содою. Если негативъ наложить на бумагу пропитанную хлористымъ сереб-

ромъ съ избыткомъ азотнокислаго и выставить на свѣтъ, то бумага подѣ мѣстами негатива пропускающими свѣтъ почернѣетъ: получается позитивъ.

47) Вслѣдствіе преломленія въ слояхъ атмосферы свѣтлѣя кажутся выше настоящаго положеніе (атмосферное преломленіе). Чѣмъ ближе къ зениту, тѣмъ оно менѣе. При поверхности сильно нагрѣтыхъ тѣлъ необыкновенное преломленіе (миражъ).

Радуга образуется каплями дождя. Каждая капля есть вершина воронкообразной полости лучей, какъ бы маленький рефлекторъ. Если соединимъ глазъ съ солнцемъ и проведемъ отъ глаза линію дѣлающую со сказанной уголь 42° , то направленный по ней лугъ зрѣнія встрѣтитъ тѣ капли которыя посылаютъ красный цвѣтъ; если уголь 40° то фиолетовый.

Электричество и магнетизмъ.

I. Начальные факты магнетизма.

1) Магниты естественные суть куски магнитнаго желѣзняка (желѣзная руда). Искусственные бываютъ: а) стальные, б) изъ мягкаго желѣза—электро-магниты.

2) *Основные факты*: а) притяженіе желѣза и вообще желѣзо-магнитныхъ тѣлъ (діамагнитныя отталкиваются); б) полярность: сѣверный и южный полюсы, притяженіе разнородныхъ и отталкиваніе однородныхъ; в) магнитное вліяніе: въ мягкомъ желѣзѣ временное намагниченіе; въ стали намагниченіе остающееся и по прекращеніи вліянія. Притяженіе и отталкиваніе двухъ магнитныхъ массъ m

и m' на разстояніи r пропорціонально величинѣ $\frac{mm'}{r^2}$. Маг-

нитъ при дѣйствіи вдалѣ можно разсматривать какъ двѣ частицы магнитныя помѣщенныя въ его полюсахъ. Намагничиваніе: а) простымъ и двойнымъ натираніемъ (одновременно на двухъ половинахъ полосы); б) истодю двойнаго прикосновенія (двойною системою магнитовъ). Для усиленія концы полосы кладутся на желѣзо или на магниты; трущіе магниты ставятся наклонно.

3) Теплота ослабляетъ силу постоянного магнита: при высокой температурѣ магнитность совсѣмъ утрачивается. Временное намагниченіе чрезъ вліяніе усиливается до раскаленія, затѣмъ уменьшается.

4) *Дѣйствіе земли.* Двойное: а) *направляющее.* Горизонтальная стрѣлка становится по магнитному меридіану (склоненіе есть уголъ магнитнаго меридіана съ географическимъ). Полоса до намагниченія поставленная горизонтально, послѣ намагниченія наклоняется (въ нашемъ полушаріи) сѣвернымъ концемъ книзу (сила земнаго магнетизма направлена слѣдов. не горизонтально). Стрѣлка свободно обращающаяся около центра тяжести (стрѣлка съ горизонтальною осью держаемая вилкою висящей на нити) устанавливается въ плоскости магнитнаго меридіана, наклоняясь сѣвернымъ концемъ подѣ горизонтъ (уголъ наклоненія). Орудіе въ которомъ стрѣлка, укрѣпленная на оси проходящей чрезъ ея центръ тяжести, можетъ обращаться въ устанавливаемой такъ или иначе вертикальной плоскости есть *компасъ наклоненія* (если плоскость его совпадаетъ съ магнитнымъ меридіаномъ, то уголъ наклоненія подѣ горизонтъ наименьшій: собственно наклоненія; если плоскость перпендикулярна меридіану, стрѣлка становится отвѣсно). Совокупность положеній стрѣлки на разныхъ мѣстахъ земнаго шара въ общихъ чертахъ объясняется, если вообразить у центра земли, по направленію не совпадающему съ направленіемъ оси, короткій сильный магнитъ. Дѣйствіе земли одинаково на тотъ и другой полюсъ (направляющее, пара силъ), ибо магнитъ на плаву не стремится плыть къ сѣверу, вертикально цовѣщенный одинаково вѣситъ какой бы полюсъ ни былъ внизу. б) *Намагничивающее.* Полоса мягкаго желѣза держаемая вертикально, или еще лучше по направленію стрѣлки наклоненія, временно намагничивается, получая внизу сѣверный полюсъ (если перевернуть, то конецъ, имѣвшій когда былъ внизу, сѣверный полюсъ, перейдя вверхъ, приобрететъ южный и наоборотъ). Если желѣзо не вполне мягкое, намагниченіе можетъ сдѣлаться постояннымъ (особенно при сотрясеніи отъ удара).

II. Электричество отъ тренія.

5) *Притяженіе легкихъ тѣлъ.* Проводники и непроводники (изолированный кондукторъ). Электричество двухъ родовъ: однородныя отталкиваются, разнородныя притягиваются. Тѣла и трущее и натираемое оба электризуются и притомъ противоположно.

6) *Электричество распределяется на поверхности проводника.* Свободное электричество наэлектризованнаго тѣла

можно представлять себѣ какъ слой электрической жидкости облекающей тѣло. Понятіе: *количество электричества и толщина слоя въ данномъ мѣстѣ (или плотности электричества, также напряженіе).* На остріи теоретически толщина должна возрастать до безконечности, оттого электричество не удерживается и какъ бы стекаетъ (колесо Франклина).

7) *Наэлектризованное тѣло* полярно электризуетъ приближаемый изолированный проводникъ (*дѣйствіе чрезъ вліяніе*). Разноименное электричество удерживается (связано), одноименное можетъ быть уведено; потому изолированный проводникъ можно наэлектризовать дѣйствіемъ вліянія, если поднести къ источнику, коснуться проводникомъ и удалить.

8) *Электричествомъ чрезъ вліяніе* объясняются а) притяженіе легкихъ тѣлъ (шарикъ на непроводящей нити притягивается слабѣ чѣмъ на проводящей). б) *разрядъ въ формѣ искры, кисти, сіянія* (разрядъ наступаетъ когда, вѣдствие близости, притяженіе разноименныхъ электричествъ становится столь значительнымъ что раздѣляющій непроводникъ не можетъ удержать скопившихся электричествъ). При остріи разрядъ уже издали (употребленіе острія для изслѣдованія атмосфернаго электричества, громоотводы). в) *сообщеніе электричества на разстояніи, какъ напримѣръ, отъ круга машины кондуктору.* д) *Электризованіе электроскопа чрезъ вліяніе.* Электроскопъ чрезъ прикосновеніе электризуется электричествомъ подносимаго тѣла, чрезъ вліяніе — противоположнымъ. Надо поднести тѣло, коснуться электроскопа и удалить тѣло (отнимая въ то же время руку, слѣд. прекращая сообщеніе съ землею): прежде связанное, разноименное электричество обнаруживается. е) *Теорія конденсатора.* Дискъ сообщенный съ землею (конденсаторъ), поставленный рядомъ съ изолированнымъ (коллекторъ), увеличиваетъ способность послѣдняго принимать электричество отъ постоянного источника; значительная часть стекаетъ на сторону обращенную къ конденсатору, и коллекторъ становится способнымъ принимать новое количество. Электрическая емкость тѣла увеличивается чрезъ содѣйствіе проводниковъ. Конденсаторъ важенъ, если источникъ таковъ что взятое отъ него электричество тотчасъ восстанавливается (напримѣръ при опытахъ съ электричествомъ отъ прикосновенія; также при сообщеніи электричества шарикомъ заряженной лейденской банки, гдѣ свободное на шарикѣ находящееся электричество восстанавливается внутри находящимся запасомъ).

9) *Теорія лейденской банки.* Франклинъ показалъ что внутренняя и ви́шняя обкладки заряжены противоположнымъ электричествомъ. Если внутрь сообщено $+E$, то оно чрезъ вліяніе разлагаетъ естественное электричество ви́шней обкладки, причемъ положительное уходитъ въ землю, отрицательное остается; совокупность обкладокъ образуетъ конденсаторъ; на внутренней и ея шарикъ есть нѣсколько свободного электричества (если приблизить палецъ къ шару, то маленькая искра, и тотчасъ часть электричества на ви́шней освобождается, на внутренней же все связано и т. д.). Если сообщить внутреннюю обкладку съ однимъ проводникомъ, наружную съ другимъ и сблизить проводники, то послѣдуетъ разрядъ и сильная искра. До разряда на проводникъ сообщенномъ съ внутреннею обкладкою располагается $+E$, на проводникъ соединенномъ съ наружною обнаруживается $-E$ (чрезъ вліяніе, а отчасти вслѣдствіе новаго распредѣленія). Толстота слоя на сближенныхъ проводникахъ не велика, потому ихъ надо близко чтобы получить искру. За первой искрой слѣдуетъ цѣлый рядъ искръ, и вся совокупность составляетъ разрядъ наблюдаемый какъ одна чрезвычайно кратковременная искра. Въ банкѣ или батареѣ должно различать а) количество заряжающаго ее электричества, б) плотность его (количество дѣльное на поверхность, — на число банокъ, если сравниваемъ батареи изъ одинаковыхъ банокъ). Дѣйствіе батареи опредѣляется, какъ количествомъ, такъ и плотностію электричества (отъ послѣдней зависитъ стремительность разряда, который тѣмъ кратковременнѣе тѣмъ болѣе плотность). Батарея изъ многихъ банокъ заряженная количествомъ а электричества дѣйствуетъ слабѣе чѣмъ одна банка заряженная тѣмъ же количествомъ.

10) *Электрофоръ.* Когда щитъ положенъ на наэлектризованную смолу, въ немъ происходитъ разложеніе электричества. Одноименное уходитъ въ землю прикосновеніемъ руки; разноименное удерживается и освобождается когда щитъ поднять. Главная особенность — способность долго сохранять электричество (дѣйствіе *формы*, Лейхтенберговъ фигуры).

11) *Машина Гольтца* объясняется (по Рису) явленіемъ *двойнаго вліянія*. Непроводникъ, помѣщенный между наэлектризованнымъ тѣломъ и кондукторомъ съ остріями, электризуется съ обѣихъ сторонъ противоположнымъ съ тѣломъ электричествомъ. Вращающійся стеклянный дискъ, проходя между наэлектризованной $-E$ полоской и остріями, элек-

тризуется $+E$ и переноситъ это $+E$ ко второй полоскѣ; сообщивъ ей электричество, при дальнѣйшемъ движеніи вновь отъ нее электризуется $-E$, переноситъ это $-E$ къ первой полоскѣ, усиливая ея наэлектризованіе и т. д. Неподвижный дискъ охраняетъ электричество на подвижномъ, исключая мѣстъ соотвѣствующихъ вырѣзкамъ. Во все время дѣйствія верхній полукругъ имѣетъ одно, нижній другое электричество. При заряденіи, вначалѣ надо держать проводники соединенными. Маленькія лейденскія банки присоединяются къ полюсамъ для усиленія искры (иначе вистъ).

12) *Армсторгова паровая электрическая машина.* Струя пара чистой воды, проходя чрезъ деревянные каналы, электризуется треніемъ. Паръ получаетъ $+E$, котель $-E$. Кондукторъ съ остріями принимаетъ электричество пара.

III. Электричество отъ прикосновенія. Гальваническая батарея.

13) *Опыты Гальвани и Вольты съ содраганіемъ лапки лягушки.* Гальвани, сообщая нервъ и мускулъ лапки лягушки помощію металлическаго проводника (особенно если проводникъ изъ двухъ разнородныхъ частей, цинка и мѣди, напри- мѣръ) замѣтилъ содраганіе. Думалъ что мускулъ и нервъ — естественная лейденская банка. Вольта а) обнаружилъ чрезвычайную чувствительность лапки для проходящаго чрезъ нее электричества, б) показалъ что нѣтъ надобности сообщать нервъ съ мускуломъ, а достаточно разнороднымъ металлическимъ проводникомъ коснуться нерва въ двухъ пунктахъ. с) показалъ что двумя кружечками, одинъ изъ олова или цинка, другой изъ серебра можно произвести дѣйствіе на нервы языка, d) обратилъ особое вниманіе на разнородность проводника, какъ условіе опыта. Заклучилъ что лапка есть чувствительный электроскопъ, а электричество возбуждается въ мѣстахъ прикосновенія металловъ между собою и металловъ съ жидкостями. вообще при прикосновеніи разнородныхъ тѣлъ.

14) *Опыты Вольты съ электричествомъ отъ прикосновенія.* Послѣ нѣсколькихъ лѣтъ изысканій обнаружилъ электричество этого рода помощію электроскопа. Опыты въ такой формѣ: а) касаться двойною на- лочкой, изъ цинка и мѣди, одного диска конденсатора, сообщивъ другой дискъ съ землею. Если цинкъ въ рукѣ, то дискъ получаетъ $-E$; если мѣдь, то дѣйствіе незамѣтно.

Опытъ можно объяснить или тѣмъ что цинкъ $+$, мѣдь $-$; или что жидкость руки $+$, цинкъ $-$; или наконецъ обѣими причинами. б) Два диска, одинъ изъ цинка, другой изъ мѣди, на стеклянныхъ ручкахъ, приводятся въ прикосновение; оказывается цинкъ $+$, мѣдь $-$ (опытъ доказывающій развитіе электричества отъ прикосновенія однихъ металловъ). с) Дискъ конденсатора изъ цинка, на немъ дискъ стеклянный съ широкою каплею воды, цинковая проволока отъ цинка къ водѣ (опытъ Буффа, доказывающій развитіе электричества отъ прикосновенія металловъ съ жидкостями). Итакъ, электродвижущая сила обнаруживается какъ при прикосновеніи металловъ такъ и при прикосновеніи металловъ съ жидкостями.

15) *Вольтовъ столбъ или гальваническая батарея.* а) Перваго устройства въ формѣ столба. Если начать и кончить двумя металлическими кружками (напримѣръ, цинкъ, мѣдь, папка; цинкъ, мѣдь, папка и т. д., наконецъ цинкъ, мѣдь) то на мѣди $-E$, на цинкѣ $+E$. Если снять по кружку, то полюсы не переимѣняются и будемъ имѣть на цинкѣ $-E$, на мѣди $+E$ (такъ во всѣхъ батареяхъ съ отдѣльными стаканами). б) Съ отдѣльными стаканами (цинкъ $-$, мѣдь $+$). с) Вульстена: мѣдь двойною поверхностію облекаетъ цинкъ, жидкость—вода съ сѣрною кислотой. Это элементы и батареи съ одною жидкостью, непостоянные вслѣдствіе поляризаціи электродовъ (покрытіе мѣди водородомъ электризующимъ ее отрицательно тогда какъ отъ жидкости элемента она электризуется положительно).

Элементы *постоянные* дѣлаются съ двумя жидкостями и суть а) Даниеля, изъ мѣди въ мѣдномъ купоросѣ и цинка въ водѣ съ сѣрною кислотой; скважистый сосудъ раздѣляетъ жидкости водородъ, который осѣлъ бы на мѣдь замѣщаетъ собою мѣдь въ мѣдномъ купоросѣ, и на мѣдномъ электродѣ осѣдаетъ мѣдь, его не поляризующая. б) Грова, изъ платины въ азотной кислотѣ и цинка въ водѣ съ сѣрною кислотой. Водородъ поглощается азотною кислотой, нѣсколько ее раскисляя, и не садится на платину. с) Бунзена—вмѣсто платины плитка угля, приготовляемого изъ весьма твердаго угля остающагося въ ретортахъ при приготовленіи газа.

16) *Вольтовъ столбъ изучаемый помощью электроскопа.* Если изолированъ, обнаруживается при полюсахъ, на одномъ $+E$, на другомъ $-E$, въ срединѣ нуль. Если одинъ полюсъ соединить съ землею, то на соединенномъ съ землею полюсѣ нуль напряженія; весь столбъ заряжается электричествомъ другого полюса, и напряженіе на этомъ полюсѣ

удваивается. Напряженіе на полюсахъ пропорціонально числу элементовъ. Явленія объясняются если допустить что между разнородными прикасающимися тѣлами обнаруживается электро-движущая сила, поддерживающая всегда постоянную разность напряженій на прикасающихся тѣлахъ. Электростатическія явленія гальванической батареи слабы, и изученіе ихъ электроскопомъ представляетъ много трудностей. Батарея Гассіота изъ 3500 малыхъ элементовъ обнаруживаетъ электростатическія явленія въ значительной силѣ. Сухіе столбы также.

17) *Токъ* обнаруживается если цѣпь замкнута. Въ цѣпи изъ однихъ металловъ нѣтъ тока (законъ Вольты). Движеніе электричества обусловливается химическими явленіями цѣпи.

Дѣйствія тока суть: а) химическія, какъ внутри такъ и внѣ батареи. Разложеніе воды, причемъ водородъ на отрицательномъ, кислородъ на положительномъ электродѣ; разложеніе солей: выдѣленіе металловъ на отрицательномъ электродѣ, разложеніе щелочей и земель (открытіе Деви потасія, натрія и т. д.). б) Термическія—накаленіе и расплавленіе проволоки, искра, вообще нагрѣваніе цѣпи (пропорціонально квадрату силы тока и сопротивленію разсѣиваемой части). с) Физиологическія. д) Магнитныя: отклоненіе стрѣлки и намагниченіе. Послѣдній отдѣлъ составляетъ особую главу—электромагнетизмъ.

IV. Электро-магнитныя явленія.

18) *Опытъ Эрстеда.* Токъ отклоняетъ магнитную стрѣлку, стремясь помѣстить перпендикулярно къ своему направленію. Сверху и снизу противоположныя дѣйствія. Правило Ампера: если вообразить наблюдателя лежащимъ по направленію тока такъ чтобы токъ шелъ отъ ногъ къ головѣ и лицо наблюдателя было обращено къ стрѣлкѣ, то *сѣверный полюсъ* стрѣлки всегда отклоняется *влѣво* отъ этого наблюдателя. Если согнуть проволоку по которой идетъ токъ четырехугольникомъ и стрѣлку помѣстить внутри, то, согласно правилу Ампера, всѣ четыре вѣтви отклонятся въ одну сторону; дѣйствіе усиливается.

19) *Гальванометръ съ мультипликаторомъ.* Астатическая стрѣлка изъ двухъ соединенныхъ перекладинкой, притомъ такъ что куда одна смотритъ сѣвернымъ, другая смотритъ южнымъ полюсомъ. Если стрѣлки равны, земной магнетизмъ не имѣетъ вліянія (медленность качаній, положеніе

перпендикулярно меридиану—признаки хорошей аstaticности). Повѣсивъ систему такъ чтобы нижняя стрѣлка была внутри мультипликатора, верхняя поверхъ его, получимъ гальванометръ съ аstaticескими стрѣлками. Токъ на верхнюю и нижнюю стрѣлки дѣйствуетъ согласно.

20) Гальванометры для сильныхъ токовъ суть: *тангенсъ-буссоль* и *синусъ-буссоль*. Тангенсъ-буссоль—кольцо съ короткою стрѣлкою въ центрѣ. Сила тока пропорціональна тангенсу угла отклоненія. Въ синусъ-буссолю кольцо поворачивается вслѣдъ за отклоняемою имъ стрѣлкою, пока опять стрѣлка будетъ въ плоскости кольца (сила тока пропорціональна синусу угла отклоненія, стрѣлка можетъ быть длинная).

Вообще гальванометры суть снаряды для измѣренія силы тока основанные на законѣ, что дѣйствие между элементомъ тока и магнитною частицею (полюсомъ стрѣлки) перпендикулярно проходящей чрезъ нихъ плоскости, пропорціонально *напряженію* или *силѣ тока*, пропорціонально магнитной массѣ частицы и обратно пропорціонально квадрату разстоянія частицы и элемента.

21) Токъ электричества отъ машины или лейденской батареи дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку какъ и токъ гальваническій (опытъ требуетъ особыхъ предосторожностей—обложенія колпакъ гальванометра металлическими листами, отвода электричества въ большую проводящую массу, напримѣръ въ газо-и водопроводныя трубы). При этомъ, какъ показъ Фарадей, „отклоняющая сила прямо пропорціональна *количеству* проходящаго электричества.“ Потому на основаніи отклоненія стрѣлки можно заключать о количествѣ прошедшаго электричества, и такъ какъ дѣйствіе на стрѣлку самаго малаго гальваническаго элемента превосходитъ дѣйствіе огромной машины, то надо принять что количество гонимаго гальваническимъ токомъ электричества чрезъ всякое сѣченіе цѣпи огромно сравнительно съ количествомъ доставляемымъ машинами; но электричество отъ машины получается съ большимъ напряженіемъ, отъ элемента—съ малымъ.

22) Вводя въ одну цѣпь гальванометръ и вольтметръ, можно доказать пропорціональность химическаго и магнитнаго дѣйствій тока. Фарадей заключилъ: подобно магнитному, химическое дѣйствіе пропорціонально количеству проходящаго электричества. Если въ одну цѣпь внести нѣсколько тѣлъ разлагающихся токомъ (напримѣръ, пропустить токъ чрезъ нѣсколько разныхъ вольтметровъ, сосуды съ жѣднымъ купоросомъ, трубку съ хлористымъ оловомъ и т. под.), то количе-

ства тѣлъ выделяемыхъ на соответствующихъ электродахъ относятся между собою какъ ихъ химическіе эквиваленты.

23) *Взаимное дѣйствіе токовъ* (электро-динамика) и *теорія магнетизма Ампера*. Амперъ, принявъ во вниманіе что токъ помѣщаетъ стрѣлку перпендикулярно своему направлению, заключилъ что направленіе стрѣлки на землѣ отъ сѣвера къ югу зависитъ отъ тока огибающаго землю. Не отъ токовъ ли и самое дѣйствіе магнита? Какое ихъ должно быть ихъ направленіе? Спираль, представляющая какъ бы одинъ слой магнита перпендикулярный оси, испытываетъ дѣйствіе магнита, и ея стороны полярны. Вообще: *два параллельные тока идущіе въ одномъ направленіи притягиваются, идущіе въ разномъ отталкиваются*. (Снаряды должны быть таковы чтобы проволока имѣла подвижность безъ прерыванія проходящаго чрезъ нее тока).

24) *Соленоидъ* теоретическій есть сумма отдѣльныхъ токовъ въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ его оси. Улиткообразная проволока есть соленоидъ плюсъ прямолинейный токъ. Чтoby дѣйствіе прямолинейнаго тока парализовать, проволока загибается еще внутрь оборотовъ. Дѣйствительный магнитъ не одинъ соленоидъ а сумма соленоидовъ или элементарныхъ токовъ. Земля какъ магнитъ дѣйствуетъ на токи и соленоиды.

25) Вращательныя электрическія движенія бываютъ: тока около полюса магнита, полюса магнита около тока (магнитъ какъ поплавокъ); вѣтви тока отъ дѣйствія огибающаго ее тока (слѣдствіе закона дѣйствія токовъ подъ угломъ).

26) *Намагниченіе дѣйствіемъ тока* стали и жегѣза (Араго). Электро-магнитъ какъ самый сильный изъ искусственныхъ магнитовъ (кусокъ мягкаго жегѣза обматанный изолированнымъ проволокой). Остаточный магнетизмъ.

27) Явленія діамagnetизма изучаются помощію сильныхъ электро-магнитовъ. Діамagnetныя тѣла а) отталкиваютъ я, б) устанавливаются экваторіально (магнитныя же въ осевомъ положеніи). Висмутъ наиболѣе діамagnetное тѣло. Пламя свѣчи отталкивается магнитомъ.

V. Термо-электрическіе токи.

28) Въ мѣстѣ тѣснаго прикосновенія или спая висмута и сурьмы, при нагреваніи, возбуждается токъ чрезъ это мѣсто идущій отъ висмута къ сурьмѣ. Вообще въ цѣпи изъ разныхъ металловъ, если мѣста прикосновенія при разныхъ температурахъ,

турахъ—термоэлектрический токъ. Нобили столбецъ приложенный Мелони къ изученію лучей теплоты (изъ палочекъ висмута и сурьмы). Токъ проходящій чрезъ мѣсто прикосновенія металловъ, въ направленіи какое имѣлъ бы термоэлектрический токъ, если бы это мѣсто было нагрѣто—охлаждаетъ это мѣсто (опытъ Пельтье). Отсюда слѣдуетъ что самый термоэлектрический токъ, циркулирующій въ цѣпи, поглощаетъ нѣсколько теплоты при нагрѣваемомъ слѣб, перенося ее къ холодному.

VI. Индуктивные токи.

29) а) При замыканіи тока въ первичной проволоцѣ—во вторичной возбуждается *обратный*, при прерываніи — *прямой* индуктивный токъ. б) При сближеніи съ первичною—обратный, при удаленіи—прямой; усиленіе индуктирующаго тока равнозначительно приближенію, ослабленіе—удаленію). с) При приближеніи (напримѣръ при вдвиганіи въ бобину) магнита, въ проволоцѣ возбуждается токъ противоположнаго направленія съ Амперовыми токами магнита, при удаленіи—одинаковаго. Индуктивные явленія значительно усиливаются, если въ бобинахъ пучки проволоцъ мягкаго желѣза (вслѣдствіе индуктирующаго дѣйствія намагниченія).

30) Законъ Ленца: индуктивный токъ всегда возбуждается такого направленія что его электро-динамическое дѣйствіе противодѣйствуетъ механическому вслѣдствіе котораго возбуждается. Токъ и магнитъ вслѣдствіе возбужденія индуктивныхъ токовъ труднѣе взаимно передвигать.

Земля какъ магнитъ возбуждаетъ индуктивные токи въ движущихся проводникахъ.

31) *Экстра-токъ* есть индуктивный токъ въ самой первичной проволоцѣ. Если прервать токъ цѣпи въ которую введена длинная, дѣлающая много оборотовъ проволока (бобина, напримѣръ) то искра значительно сильнѣе чѣмъ когда въ цѣпи не было этой проволоки (хотя постоянный токъ былъ тогда сильнѣе).

32) *Магнетизмъ вращенія* (Араго). Магнитная стрѣлка скоро успокоивается, если качается въ сосѣдствѣ хорошо проводящей массы; мѣдный вращающійся дискъ увлекаетъ магнитную стрѣлку. Электро-магнитъ останавливаетъ кубъ повѣшенный на закрученной нити. Трудно двигать мѣдный дискъ между полюсами магнита (какъ бы отъ невидимаго тренія), и дискъ нагрѣвается (опытъ Фуко). Явленія объясняются индукціею.

33) *Машина Румкорфа*. Двѣ проволоки: толстая, первичная, оборотовъ 300, тонкая—индуктивная, отлично изолированная, множество оборотовъ, напримѣръ 30 000. Прерываніе особымъ электро-магнитнымъ прерывателемъ (иногда также по системѣ молоточка) чрезъ выниманіе металлическаго кончика погруженнаго въ ртуть. Возбуждаются два тока: обратный (при погруженіи кончика) и прямой (при выниманіи); чрезъ воздухъ проходитъ только прямой (токи эти съ равнымъ количествомъ электричества, но не равною продолжительностію и потому не равнымъ напряженіемъ). При первичной проволоцѣ конденсаторъ (размагниченіе желѣза). Опыты: длинная искра; короткая энергическая искра, если въ индуктивной проволоцѣ конденсаторъ или лейденскую банку; Гейслеровы трубки, заряденіе лейденской батареи (перерывъ на пути заряжающаго тока, чтобы заряжать только прямой токъ).

34) *Магнито-электрическая машина*: Кларка (бобины вращающіяся предъ полюсами магнита); Уильда (катушка Сименса; токъ возбуждаемый магнитомъ служить въ намагниченію огромнаго электромагнита, а этотъ уже возбуждаетъ индуктивный токъ); Ледда (электро-магнитъ остаточнымъ магнетизмомъ своего желѣза возбуждаетъ слабый вначалѣ токъ въ катушкѣ; токъ пропускается чрезъ проволоку электро-магнита, который такимъ образомъ самъ себя усиливаетъ; когда достигнетъ значительной силы возбуждаетъ сильный токъ въ индуктивной катушкѣ).

VII. Общая теорія тока.

35) *Сила* или *напряженіе* тока измѣряется его магнитнымъ дѣйствіемъ.

Сопротивленіе проводника прямо пропорціонально длине проводника, обратно пропорціонально площади его сѣченія и электрической проводимости его матеріала. Сопротивленіе $r = \frac{l}{\kappa \cdot \omega}$, гдѣ l длина ω сѣченіе, κ коэффициентъ электропроводности. Для опредѣленія сопротивленій употребляется *реостатъ*.

Электродвижущая сила есть причина электрическаго напряженія при полюсахъ когда токъ не замкнутъ. Общая электродвижущая сила батарей есть сумма электродвижущихъ силъ его элементовъ. Законъ Ома: *сила тока прямо пропор-*

циональна электродвижущей силе и обратно пропорциональна сопротивлению цепи. Формула: $i = \frac{E}{R+r}$, где E электродвижущая сила, R сопротивление элемента, r сопротивление соединительного проводника.

36) В случае батареи $i = \frac{nE}{nR+r}$. Если r мало, число элементов не имеет значения; напротив очень важно увеличивать число элементов, если r велико.

В случае нескольких элементов соединенных общими полюсами (цинки вместе, угли вместе), электродвижущая сила та же что в одном элементе, сопротивление уменьшается (сопротивление банки больших размеров меньше сопротивления малой банки). Будем иметь

$$i = \frac{E}{\frac{R}{n} + r} = \frac{nE}{R + nr}.$$

VIII. Телеграф и гальванопластика.

37 Телеграф Морза основывается на возможности с одной станции мгновенно намагнитить кусок железа стоящий на другой станции. Намагнитившееся железо притягивает коромысло с якорем мягкого железа на конце. Другой конец коромысла, повышаясь, приподнимает до прикосновения с бумажною лентой кружок смачиваемый по окружности чернилами. Лента тянется механизмом приводимым в движение грузом или пружиной. Между двумя станциями достаточно одной проволоки, другая замкнута на землю. Надземная проволока железная на столбах. Подводные кабели. Отчего в них замедляется движение электричества.

38) Гальванопластика основывается на разложении медного купороса; медь осаждается на отрицательном электроде, каковым служит проводящая поверхность формы, и образует слой имеющий рельефный отпечаток углублений формы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ УПРАЖНЕНИЙ.

1) Из чего мы заключаем что на камень действует сила тяжести? Что такое вес? Есть ли вес такое свойство без которого нельзя себя представить физического тела? Есть ли вес данного тела постоянная величина? Различие между весом и массой? Если бы на луну выбросить ядро из жерла пушки действием того же количества пороха, то будет ли скорость, приобретенная ядром, одинакова как на земле, где вес ядра в шесть раз больше? Вообразим тело не имеющим веса; какие свойства в нем сохраняются если оно твердое, если жидкое, если газообразное?

2) Какое заключение следует из того что на всех местах земной поверхности направление отвеса перпендикулярно к поверхности воды?

3) Какое положение должен иметь центр тяжести тела чтобы оно осталось в равновесии? Как на черенке ножа положенного лезвием на край стола (причем черенок даже перевешивает) повесить бутылку, так чтобы она не упала и удержала самый нож?

4) Может ли быть устойчивое равновесие когда центр тяжести выше точки опоры?

Центр тяжести человеческого тела. Центр тяжести человека несущего груз на спине или в руках.

5) Как малою силою произвести большое давление: а) помощью рычага, б) помощью жидкости.

6) Выразить формулою что две переменные величины прямо пропорциональны между собою, что две величины обратно пропорциональны (помощию пропорции и помощью постоянного коэффициента). Как выразить что одна величина прямо или обратно пропорциональна квадрату другой? Какую пропорциональность выражают формулы:

$$x=ay; xy=a; x=ay^2.$$

Что означает коэффициент a ? Что выражают формулы:

$$P:P'=L:L; P:P'=D:D'; e=at^2; PV=P'V'=P'V''...$$

$$N^2:N''=L:L'$$

7) Что значит работать в механическом смысле? Если ло-

шадь по горизонтальному направлению передвигается на протяжении x метровъ p килограммовъ, то можно ли сказать что произведенная работа будетъ px килограмметровъ? Какое сопротивление побѣждается въ этомъ случаѣ?

Что такое двигатель и для чего служатъ машины? Основное правило преобразования работы: что выигрывается въ силѣ, теряется въ пройденномъ пути. Помощію малой силы можно, при посредствѣ машины, побѣдить большое препятствіе, но подъ какимъ условіемъ? Невозможность *perpetuum mobile*.

8) Что значитъ выраженіе: плотность мѣди равняется 8,79? При какой температурѣ предполагается мѣдь и при какой вода? Что такое граммъ и килограммъ? Формула $P=VD$ въ случаѣ метрической системы. Въ какихъ единицахъ выражаются P и V ? Какъ опредѣлить вѣстимость сосуда помощію взвѣшиванія наполняющей его ртуті?

9) Какъ безъ помощи воздушнаго насоса доказать что тѣла въ воздухѣ падаютъ съ неодинаковою скоростію въслѣдствіе его сопротивления? Почему сопротивленіе воздуха легкія тѣла заставляетъ падать медленно, а скорость паденія тяжелыхъ мало уменьшаетъ (сравненіе съ вѣтромъ)? Какимъ разсужденіемъ Галилей показывалъ нелѣпость утвержденія будто тѣло которое вдесятеро тяжелѣе другаго падаетъ вдесятеро скорѣе? Доказательство помощію маятника что тяжелыя и легкія тѣла падаютъ съ одинаковою скоростію, если не вліяетъ сопротивленіе воздуха. Какое заключеніе слѣдуетъ изъ того что тѣло падающее съ большей высоты сильнѣе ударяетъ о землю, чѣмъ тѣло падающее съ меньшей высоты?

10) Необходимо ли дѣйствіе силы для того чтобы тѣло сохранило движеніе? Сила производитъ ускореніе. Указать случаи когда тѣло движется равномерно, несмотря на постоянное дѣйствіе силы. Сила, дѣйствуя по направленію движенія, или ускоряетъ тѣло, или уравниваетъ препятствіе, производи работу. Что производитъ сила когда дѣйствуетъ не по направленію движенія?

11) Криволинейное движеніе можетъ происходить или отъ дѣйствія силы, или отъ препятствія. Какъ называется сила натягивающая нить на которой привязано вращающееся тѣло? Какъ пойдетъ тѣло, если нить оборвется? Можно ли сказать что оно пойдетъ повинувшись центробѣжной силѣ? Доказать что въ случаѣ если препятствіе заставляетъ тѣло идти равномерно по кру-

гу, дѣйствіе оказываемое тѣломъ направлено по радіусу (центробѣжная сила). Пока движеніе ускоряется или замедляется, кромѣ центробѣжной силы существуетъ боковое давленіе

Повинувшись какому дѣйствію, планеты обращаются вокругъ солнца?

12) Почему въ то время какъ всѣ предметы уносятся съ быстротою вращеніемъ земли, птица не отставая передлетаетъ съ мѣста на мѣсто? Движенія внутри корабля, вагона? Не противорѣчитъ ли второму закону движенія то обстоятельство что дымъ идущаго локомотива не подымается прямымъ столбомъ, какъ дыма стоящаго? Какъ волтижеръ на лошади перепрыгиваетъ чрезъ канавъ? Какъ направляютъ лодку на рѣкѣ чтобы перѣѣхать съ одного берега на другой? Движенія на землѣ происходятъ ли вполнѣ такъ какъ происходили бы еслибы земля была въ покоѣ. Участіе вращенія земли въ происхожденіи пассатныхъ вѣтровъ.

13) Когда магнитъ притягиваетъ кусокъ желѣза, съ какою силой кусокъ желѣза въ свою очередь тянетъ магнитъ? Какой третій законъ движенія? Примеры.

14) Въ чемъ состоитъ исохронность маятника? Есть ли, кромѣ качаній маятника, другія исохронныя качанія? Зависимость числа качаній маятника отъ его длины. Гдѣ маятникъ данной длины дѣлаетъ болѣе качаній въ опредѣленное время, подѣлываетъ болѣе качаній въ полусахъ? Гдѣ болѣе длинна секунднаго маятника?

Какой двигатель въ часахъ? Какую роль въ часахъ играетъ маятникъ? Почему часы останавливаются когда не заведены?

15) Какъ прилагается теорія рычага къ безмѣну, къ устройству руки? Правило рычага въ приложеніи къ блоку неподвижному и подвижному; въ приложеніи къ воюту. Развѣтвить безмѣнъ для одной, двухъ, трехъ... единицъ вѣса (предполагая что длинны, вѣсы самаго безмѣна и положеніе его центра тяжести извѣстны).

16) Какъ помощію машины Атвуда оправдать что, при той же массѣ, силы относятся какъ ускоренія и, при той же силѣ, ускоренія обратно пропорціональны массамъ. Какъ оправдать тѣже положенія помощію наклонной плоскости?

17) Въ извѣстномъ фантастическомъ разказѣ Жюль Верна о ядрѣ съ наблюдателями брошенномъ съ земли на луну, разказы-

нается, что когда ядро приблизилось къ лунѣ на такое разстояніе что притяженіе луны сдѣлалось равнымъ притяженію земли, всѣ предметы внутри ядра потеряли тяжесть, и всякій предметъ, не падая, оставался въ воздухѣ гдѣ помѣщенъ. Показать что такое явленіе должно бы было происходить не въ этой только, нейтральной точкѣ, но на всемъ протяженіи пути, и что движеніе брошеннаго ядра нельзя сравнивать съ движеніемъ, напримѣръ, воздушнаго шара поднимающагося вверхъ: каждая часть ядра летитъ не потому что увлекается другими, а по силѣ верженія, съ тою же скоростью какъ всѣ другія и не имѣетъ причины отъ нихъ отставать.

18) Въ чемъ отличіе жидкихъ тѣлъ отъ твердыхъ и газообразныхъ? Есть ли взаимное притяженіе частицъ въ жидкой массѣ? Какого рода взаимное дѣйствіе бываетъ между частицами газообразнаго тѣла? Какое значеніе имѣетъ наименованіе *капельно-жидкихъ* тѣлъ въ отличіе отъ *упругихъ* жидкихъ тѣлъ? Почему жидкости называютъ несжимаемыми? Отъ какой причины жидкость въ сосудѣ давитъ на дно и стѣнки? Какая разница между давленіемъ столба твердаго тѣла и столба жидкости? Могла ли бы жидкая масса не подверженная дѣйствію тяжести принять всякую форму? Какое направленіе имѣетъ вытекающая изъ сосуда струя? Съ чѣмъ можно сравнивать массу вытекающей жидкости? Какимъ условіемъ опредѣляется видъ свободной поверхности жидкости? Какъ практически сдѣлать вѣрную горизонтальную плоскость? Какъ производится нивелированіе? Какія жидкости при стѣнкахъ сосуда стоятъ выше и какія ниже уровня въ сосудѣ?

19) До какой высоты бьетъ фонтанъ? Можно ли сдѣлать фонтанъ который билъ бы выше уровня резервуара? Происхожденіе рѣкъ, подземныхъ выстилицъ воды, артезианскихъ колодезѣвъ? Всегда ли въ сообщающихся трубкахъ жидкость стоитъ на одномъ уровнѣ? Почему происходитъ просачиваніе жидкости въ сахаръ, землѣ и т. под.? Какъ сдѣлать фитиль изъ стекла? Какъ помощію пяди нитокъ заставить жидкость переходить изъ одного сосуда въ другой? Законъ равновѣсія разнородныхъ жидкостей въ сообщающихся сосудахъ. Отъ какого уровня считаются высоты уравнивающихъ колоннъ? Какимъ образомъ случай равновѣсія жидкости въ сообщающихся сосудахъ ведетъ къ заключенію что жидкость давитъ сообразно своей

высотѣ, но независимо отъ своего количества? Какъ измѣрить давленіе жидкости на дно сосуда? Если поставитъ сосудъ на чашку вѣсовъ, то давленіе жидкости на эту чашку можно ли разсматривать какъ давленіе на дно? Въ какомъ случаѣ жидкость производитъ давленіе на дно равное своему вѣсу, когда большее, когда меньшее? Можно ли стаканомъ воды произвести давленіе равное нѣсколькимъ пудамъ? Възвѣсивая на вѣсахъ давленіе равное нѣсколькимъ пудамъ? Данное количество жидкости не должны ли мы получить разный вѣсъ смотря по формѣ сосуда въ какомъ заключена жидкость? Реакція истекающей струи. Объяснить полетъ ракеты давленіе ружья на плечо стрѣляющаго, принципъ машинъ основанныхъ на истеченіи жидкости.

20) Какое главное механическое начало въ ученіи о жидкостяхъ? Начало это не зависитъ отъ того имѣетъ жидкость вѣсъ или нѣтъ. Какъ сдѣлать такой опытъ для поясненія начала распространія давленія, который не зависѣлъ бы отъ того какой вѣсъ имѣетъ жидкость и вообще имѣетъ ли она вѣсъ? Жидкость какъ машина преобразующая работу. Приложение къ случаю жидкости общаго начала машинъ: „что выигрывается въ силѣ теряется въ пройденномъ пути“. Въ чемъ состояла главная трудность при осуществленіи Паскалевой идеи о гидравлическомъ прессѣ?

21) Вообразимъ внутри жидкой массы нѣкоторую часть; эта часть имѣетъ вѣсъ, частицы жидкости удобоподвижны: отчего же она не падаетъ внизъ? Что произошло бы еслибъ она имѣла плотность больше или меньше плотности окружающей жидкости? Давленіе жидкости на погруженное тѣло: снизу сверху, съ боковъ. Паскалевъ выводъ закона Архимеда. Изъ того что тѣло теряетъ часть своего вѣса будучи погружено въ жидкости, не слѣдуетъ ли что если на чашкѣ вѣсовъ стоитъ сосудъ съ водою и лежитъ нѣкоторое тѣло, то уравнивающая чашку грузъ долженъ быть иной если тѣло погрузить въ воду? Куда дѣвается потерянный тѣломъ вѣсъ? Приложение къ закону Архимеда начала: „дѣйствіе равно противодѣйствію“. Условіе что бы тѣло плавало на водѣ. Пояснить правило Архимеда что въ случаѣ плавающаго тѣла „погруженный объемъ во столько разъ меньше всего объема тѣла, во сколько вѣсъ тѣла меньше вѣса равнаго ему объема воды“. Какую форму должно дать куску металла, чтобъ онъ плавалъ на водѣ? Можетъ ли игла плавать

на водѣ? Бадью колодца легко тянуть пока она въ водѣ: какое заключеніе изъ этого и подобныхъ опытовъ было выводимо многими учеными въ эпоху Паскаля и мѣшало принятію ученія о давленіи атмосферы? Какъ выносить живыя существа давленіе воды на большихъ глубинахъ?

22) Объяснить явленія сопровождающія наливаніе воды въ сосудъ, открытый внизу и поставленный на стеклянную доску прилифованную къ нижнему отверстию и представляющую собою отдѣльное (§ 51) горизонтальное дно сосуда. (Въ случаѣ если сосудъ книзу уже—стѣнки прижимаются ко дну; если шире книзу—вода стремится приподнять стѣнки и протекаетъ у дна).

23) Потеря вѣса въ грязной водѣ (вообще въ жидкости со взвѣшенными тѣлами) значителѣе ли чѣмъ въ чистой?

24) Составить формулу для опредѣленія плотности жидкости помощью ареометра Фаренгейта. Составить формулу для опредѣленія плотности твердаго тѣла помощью ареометра Никольсона.

25) Почему, когда жидкость вытекаетъ изъ отверстія въ стѣнкѣ, избытокъ давленія на другую стѣнку болѣе вѣса колонны воды соответствующей отверстию. Есть ли реакція вытекающей струи въ случаѣ если истечение происходитъ изъ отверстія въ днѣ сосуда открытаго сверху?

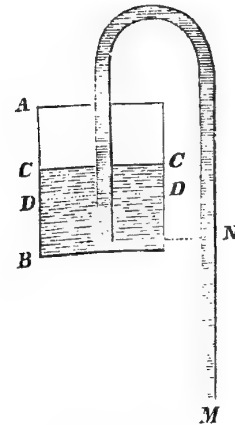
26) Какъ объясняются опыты съ поддувальнымъ мѣхомъ, насосомъ, опрокинутою отверстіемъ въ воду бутылкой и т. под.? Какъ объясняется опытъ Торричелли? Можно ли считать пространство надъ ртутью въ трубкѣ Торричелли абсолютно пустымъ? Что измѣряетъ барометръ? Точно ли сказать что онъ измѣряетъ вѣсъ воздуха? Отчего зависѣла бы высота ртути въ барометрѣ, еслибы этотъ барометръ былъ помѣщенъ въ замкнутомъ пространствѣ наполненномъ какимъ-либо газомъ? Зависѣла ли бы она отъ вѣса этого газа?

27) Отчего происходитъ давленіе воздуха въ атмосферѣ? Случаи: а) когда барометръ находится въ свободной атмосферѣ, б) когда онъ находится въ замкнутомъ пространствѣ сохраняющемъ впрочемъ сообщеніе съ атмосферой (например въ комнатѣ), в) въ пространствѣ замкнутомъ въ строгомъ смыслѣ? Атмосфера какъ слой облекающій землю. Участвуетъ ли она въ обращеніи земли? Предѣлы атмосферы, необходимость предѣла выводимая изъ понятій о центробѣжной силѣ. Если при той же температурѣ подѣ экваторомъ и у полюсовъ барометръ

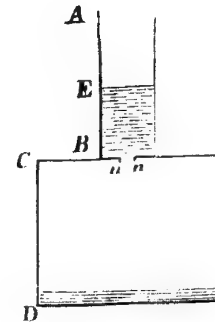
показываетъ одинаковую высоту, то должно ли заключить что давленіе атмосферы въ этихъ двухъ случаяхъ строго одинаково? Давленіе 760 миллиметровъ ртути, взятой при той же температурѣ, въ Москвѣ и въ Парижѣ одно ли и то же?

29) Приложение общаго закона распространенія давленія въ жидкихъ тѣлахъ къ давленію атмосферы. Въ чемъ разница въ передачѣ давленія чрезъ жидкія тѣла несжимаемыя какъ вода и упругія какъ воздухъ? Сравненіе барометрической трубки и окружающей атмосферы съ сообщающимися сосудами наполненными жидкостями разной плотности.

30) Въ цилиндрической закрытой трубѣ (фиг. 720) налита вода и погруженъ до дна сифонъ. $AB=h$; $AC=r$; CC есть уровень воды; упругость воздуха, находящагося въ сосудѣ, пусть равняется H . Когда прекратится истечение, и на какомъ разстояніи $AD=x$ будетъ находиться уровень DD остановившейся жидкости, если давленіе вѣшняго воздуха есть H' и длина $NM=d$?



Фиг. 720.

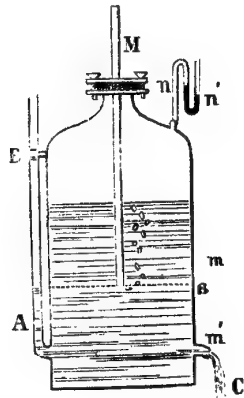


Фиг. 721.

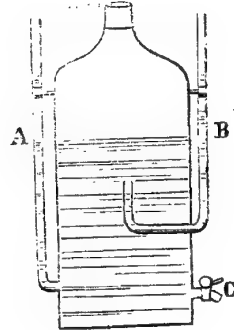
31) Цилиндрическая стеклянная трубка AB , наполненная ртутью, открывается небольшимъ отверстіемъ въ сосудѣ CD (фиг. 721) съ воздухомъ при атмосферномъ давленіи H . Если трубка не закрыта сверху, то ртуть будетъ течь въ широкій сосудъ. При какой высотѣ ртути $EB=x$ прекратится истечение? $AB=l$,

$CD = L$, основаніе трубки $AB = m$ квадр. единиц; основаніе сосуда $CD = n$ квадр. единиц.

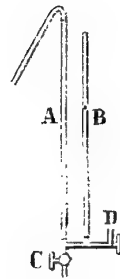
32) Какъ воспользоваться снарядомъ изображеннымъ на фиг. 722 для разъясненія явленій представляемыхъ сосудомъ Мариотта? (Прибавленная сбоку трубка весьма наглядно показываетъ что теорія приводится къ случаю открытаго сосуда въ которомъ уровень производящаго истечение столба опредѣляется уровнемъ жидкости въ открытыхъ каналахъ. Манометръ указываетъ въ какомъ состояніи находится воздухъ въ закрытой части сосуда).



Фиг. 722.



Фиг. 723.



Фиг. 724.

33) Какія явленія представить истечение жидкости изъ сосуда устроеннаго какъ изображено на фиг. 723? Приложить снарядъ изображенный на фиг. 724 къ разъясненію теоріи сифона. (Открытый каналъ B служитъ къ показанію что жидкость при отверстіи давить съ силою столба высота котораго равняется разстоянію отверстія отъ уровня жидкости въ сосудѣ. Изъ отверстія D можно произвести струю фонтана. Почему въ открытомъ каналѣ уровни понижается какъ скоро начинается истечение изъ отверстія C ?)

34) Опыты Паскаля съ двойнымъ барометромъ и со внесеніемъ барометра на гору. Если барометрическую трубку съ колонной ртути привѣсить къ чашкѣ вѣсовъ, не вынимая отверстія изъ

ртути, то какииъ вѣсомъ будетъ обременена эта чашка? Отчего жидкость выливается изъ опрокинутаго сосуда?

35) Можно ли сифономъ перелить воду черезъ гору? Можно ли сказать что давленіе при отверстіи одного жолва сифона есть $H-h$, другаго $H-h'$? Гдѣ надо сравнивать давленія для объясненія теоріи сифона? Какъ Паскаль произвелъ переливаніе ртути подъ водою сифономъ (§ 79, фиг. 111) действовавшимъ вслѣдствіе давленія воды (опытъ въ текстѣ описанъ не полно, опущено что трубка должна быть длинною)? Равновѣсіе жидкости въ открытой трубкѣ сообщающейся съ закрытымъ сосудомъ, въ которомъ поверхъ жидкости находится газъ. Приложение къ объясненію Мариоттова сосуда. Какіе еще способы произвести постоянное истечение?

36) Почему нижнее отверстіе ливера должно быть малое? Теорія перемежающагося фонтана приводится къ теоріи ливера. Когда прекратится истечение въ фонтанѣ этого рода, до какой высоты поднимется жидкость въ трубкѣ? Героновъ фонтанъ. Какъ велико сжатіе воздуха въ верхнемъ резервуарѣ?

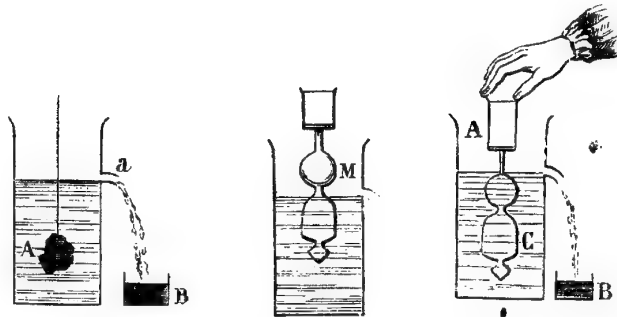
37) Почему въ опытѣ Отто фонъ-Герике съ сосудомъ наполненнымъ водою, изъ котораго насосомъ выкачивали воду, было трудно качать? Что собственно выкачивалъ Герике въ своихъ первыхъ опытахъ? Извѣстъ шаръ изъ непроницаемой, но растяжимой ткани, наполненной водородомъ. Какъ велико будетъ давленіе воздуха на него снизу вверхъ? Какъ велика будетъ упругость водорода? Если бы внутри этого шара былъ барометръ, то мы не замѣтили бы разницы въ высотѣ его съ тою какою онъ имѣетъ находясь въ воздухѣ внѣ шара; слѣдовательно давленіе водорода то же что и давленіе воздуха; не противорѣчитъ ли это тому что сказано объ избыткѣ давленія снизу вверхъ? Что произойдетъ съ шаромъ когда онъ будетъ повышаться въ атмосферѣ? Значеніе предохранительнаго клапана на азростатѣ; значеніе балласта.

38) Какъ воспользоваться снарядомъ изображеннымъ на фиг. 725 для опредѣленія плотности тѣлъ?

39) Какъ оправдать законъ Архимеда помощію снаряда изображеннаго на фиг. 726 и 727? (Когда снарядъ плаваетъ, шаръ M находится поверхъ воды; чтобы погрузить, надо оказать давленіе сверху, напримѣръ рукою; давленіе это можно замѣнить

всюду вытесненной воды собранной в сосуды *B* и налитой в верхний сосуд снаряда).

40) Съ какою скоростію распространяются въ разные стороны звуковыя колебанія отъ звучащаго тѣла какъ центра? Одина-



Фиг. 725.

Фиг. 726.

Фиг. 727.

ковы ли волны посылаемыя въ разные стороны (наприм. волны отъ колокола, отъ струны). Почему при возвращеніи тѣла произведшаго передъ собою сжатую волну, сжатіе переходитъ въ разрѣженіе и не въ нормальное состояніе какъ бываетъ, если двинувшееся впередъ тѣло останавливается. Почему, если воздухъ въ какомъ нибудь мѣстѣ трубы сжатъ и расширяется о посылаетъ по сжатой волнѣ и впередъ и назадъ, тогда какъ сжатая волна идущая въ трубѣ отъ звучащаго тѣла производитъ сжатіе только передъ собою, оставляя за собою воздухъ въ нормальномъ состояніи?

41) Чѣмъ разнятся два звука образуемые равнымъ числомъ волнъ, если волны одного изъ нихъ не одинаковы съ волнами другого? Въ чемъ можетъ состоять разница волнъ? Что значить полное колебаніе и полная волна въ случаѣ струны, діапозона, сирены? Какъ можно привести въ движеніе струну? Въ чемъ дѣйствіе смычка на струну?

42) Почему діапазонъ почти не слышенъ, если не приложенъ къ твердому тѣлу? Какъ передать звукъ чрезъ нитку, вообще чрезъ твердыя тѣла?

43) Какому импульсу и вообще движенію соответствуетъ простой тонъ. Отчего ухо ощущаетъ только простые тоны, а слож-

ный тонъ разлагаетъ на его слагающіе простые? Чѣмъ объясняется консонансъ и диссонансъ звуковъ? Въ чемъ различіе звуковъ если одну и ту же ноту пѣть на разнымъ гласнымъ *a, e, и, ...*?

44) Длина волны соответствующая данному тону (данному числу колебаній) есть ли величина постоянная?

45) Отчего громъ дѣлаетъ раскаты? Какъ судить о разстояніи по наблюденію времени между появленіемъ свѣта и ощущеніемъ звука?

46) Какъ сообщается теплота термометру отъ окружающихъ его тѣлъ? Передача теплоты отъ слоя къ слою не одинаковой температуры составляетъ явленіе теплопроводности; можетъ ли быть передача отъ слоя къ слою равной температуры (лучистое распространеніе чрезъ теплопрозрачныя тѣла)? Что такое температура пространства? Можно ли понимать ее какъ температуру эфира?

47) Въ чемъ доказательства собственной внутренней теплоты земли? Нельзя ли объяснить ее поглощенною солнечною теплою?

48) При одинаковой ли температурѣ обнаружится точка росы въ случаѣ если охлаждаемая масса влажнаго воздуха остается въ сообщеніи съ окружающимъ воздухомъ и въ случаѣ если она отъ него вполне отдѣлена?

49) Значеніе двойныхъ рамъ. Значеніе парниковъ. Какъ печь нагреваетъ комнату?

50) Можно ли соединеніемъ лучей, вышедшихъ изъ какого-либо источника произвести температуру выше температуры самого источника; другими словами, можно ли повысить температуру луча? Подобныя соображенія относительно яркости изображенія сравнительно съ яркостію предмета. Возможно ли (теоретически) помощію, напримѣръ, Бюссеновской комбинаціи зеркалъ произвольно громадныхъ размѣровъ, произвести въ пространствѣ изображеніе солнца ярче самого солнца?

51) Правильно ли сказать что вслѣдствіе скорости свѣта (§ 282) мы видимъ солнце на сводѣ небесномъ на томъ мѣстѣ какое оно занимало 8 м. 13 с. тому назадъ и что когда усматриваемъ его восходящимъ то уже прошло 8 м. 13 с. послѣ его дѣйствительнаго восхожденія? Изъ ученія о скорости свѣта можно вывести доказательство что вращается земля, а не сводъ небесный около земли.

52) Сдѣлавъ въ картѣ булавкою двѣ дырочки на разстояніи болѣе близкомъ чѣмъ діаметръ зрачка, станемъ смотрѣть чрезъ эти отверстія на поставленную на нѣкоторомъ разстояніи булавку или двѣ булавки помѣщенные одна за другой. Какія замѣтимъ явленія (объясняющіяся проникновеніемъ въ глазъ двухъ узкихъ пучковъ лучей; опытъ Шейнера)?

53) Ахроматичны ли изображенія получаемыя чрезъ полное внутреннее отраженіе въ призмѣ?

54) Разобрать вопросъ о томъ какъ мы видимъ предметы въ прямомъ видѣ, хотя изображеніе на ретинѣ верхъ ногами. Если бы поставить предъ глазами два зеркала, образующія уголъ зеркальных сторонъ котораго находится на внешней его сторонѣ, и поставить притомъ такъ чтобы правый глазъ видѣлъ въ стоящемъ передъ нимъ зеркалѣ предметы правой стороны, вслѣдствіе отраженія, на лѣвой сторонѣ, лѣвый—на правой (самые предметы предполагаемъ недоступными, благодаря діафрагмѣ, прямому наблюденію); то надо думать, что поносивъ на головѣ такой аппаратъ нѣкоторое время, наблюдатель утратилъ бы сознаніе того что правая сторона представляется ему на лѣво и наоборотъ и видѣлъ бы предметы какъ они есть, то-есть безошибочно опредѣлялъ бы положеніе ихъ въ пространствѣ.

55) Задачи § 311 на стр. 428, а именно 5-я, 7-я, 9-я, 11-я, 12-я, 13-я, 14-я могутъ быть отнесены въ разрядъ вопросовъ для упражненія.

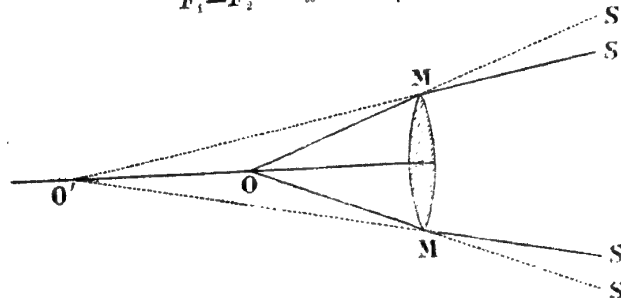
56) Опредѣлить поле зрѣнія и увеличеніе при наблюденіи чрезъ собирающее и разсѣвающее стекла при разныхъ разстояніяхъ глаза.

57) Развить методу указанную въ § 274, для опредѣленія фокуснаго разстоянія разсѣвающего стекла.

58) Разборъ вопросовъ о зрѣніи вооруженнымъ глазомъ можно основать на томъ началѣ, что если бы лучи шли изъ глаза какъ свѣтящейся точки, то они чрезъ инструментъ въ противоположномъ направленіи совершили бы тотъ же путь какими достигли глаза; то-есть лучи зрѣнія можно разсматривать какъ лучи свѣта. Въ случаѣ стекла лучи зрѣнія достигаютъ предмета такъ какъ если бы выходили не изъ глаза, а изъ изображенія глаза доставляемаго стекломъ. Если изображеніе глаза действительное, то лучи зрѣнія перекрещиваются, предметы кажутся верхъ ногами.

Въ случаѣ Галилеевой трубки, если глазъ въ O (фиг. 728) при окулярѣ, слѣд. на разстояніи $F_1 - F_2$ отъ объектива, то лучи зрѣнія направлены такъ какъ если бы былъ онъ въ O' на разстояніи x отъ объектива. Величина x найдется изъ уравненія

$$\frac{1}{F_1 - F_2} - \frac{1}{x} = \frac{1}{F_1}$$



Фиг. 728.

откуда $x = \frac{F_1(F_1 - F_2)}{F_2}$. Предѣлы обозрѣваемаго пространства

опредѣляются угломъ $MO'M$ мѣра котораго есть $\frac{D}{x}$, гдѣ D діаметръ MM объектива. Величина поля зрѣнія есть слѣдовательно $\frac{360}{2\pi} \cdot \frac{D}{x} = \frac{360}{2\pi} \cdot \frac{D}{F_1 - F_2} \cdot \frac{F_2}{F_1}$. Если бы MM было простое отверстіе, мы увидѣли бы чрезъ него часть горизонта опредѣ-

ляемую угломъ котораго мѣра есть $\frac{D}{F_1 - F_2}$. Чрезъ трубу видимъ часть горизонта опредѣляемую угломъ котораго мѣра есть $\frac{D}{x}$. Отношеніе $\frac{D}{F_1 - F_2} : \frac{D}{x}$ есть увеличеніе G . Слѣдоват.

$$G = \frac{x}{F_1 - F_2} = \frac{F_1}{F_2}$$

59) Для опредѣленія увеличенія Галилеевой трубки можно воспользоваться такимъ приемомъ. Предъ окуляромъ поставить собирающее стекло и принять на экранъ изображеніе двухъ свѣчей (стекло замѣняетъ глазъ смотрящій чрезъ трубку, экранъ—ретину). Удаливъ трубку, примемъ новое изображеніе

двухъ свѣчей на экранѣ (это какъ бы наблюденіе простымъ глазомъ). Измѣривъ разстояніе между собою двухъ изображеній свѣчь пролагаемыхъ на экранѣ въ первомъ и второмъ случаѣ и принявъ въ соображеніе разстоянія экрана отъ стекла, легко найти увеличеніе.

60) О какихъ открытіяхъ и изслѣдованіяхъ Архимеда, Галилея, Ньютона, Франклина, Вольты, Меллони *) говорится въ курсѣ?

61) Какими размышленіями приведенъ былъ Амперъ къ составленію электрической теоріи магнита? Труды Фарадея по части электричества. Какія попытки предшествовали открытію индуктивныхъ токовъ?

62) Если между наэлектризованнымъ тѣломъ и бумажнымъ шарикомъ на нити поставить металлическую доску неизолированную, то она дѣйствуетъ какъ экранъ пресѣкающій электрическое вліяніе; но если доска изолирована, то дѣйствіе электризованнаго тѣла на шарикъ усиливается. Объяснить эти явленія. Дѣйствіе мягкаго желѣза какъ экрана при явленіяхъ намагничиванія.

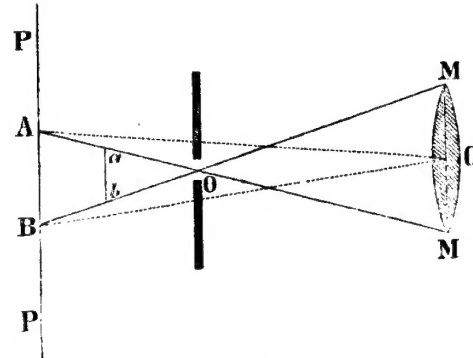
63) Показать главные начальные факты магнетизма помощью фигуръ образуемыхъ опилками (линій магнитной силы).

64) Какъ намотать проволоку гальванометра съ аstaticескими стрѣлками такъ чтобы не только нижняя, но и верхняя была внутри оборотовъ проволоки (отдѣльные обороты вкругъ нижней и вкругъ верхней въ разномъ направленіи)?

Дополненіе къ теоріи Галилеевой трубки. Теорію Галилеевой трубки можно развить на слѣдующихъ основаніяхъ. Пусть (фиг. 729) *MM* есть объективъ, *PP* его фокальная плоскость на которой рисуется изображеніе отдаленныхъ предметовъ. Если между объективомъ и этою плоскостію помѣстить діафрагму съ малымъ отверстіемъ *O*, то изображеніе на фокальной плоскости сохранится (можетъ быть принято бли-

*) Краткія біографическія свѣдѣнія помѣщенные въ курсѣ въ подстрочныхъ примѣчаніяхъ частію заимствованы у Литрона частію собраны изъ другихъ источниковъ.

же и дальше) съ тою разницею что каждая точка его будетъ образовываться не чрезъ соединеніе лучей коническаго пучка,

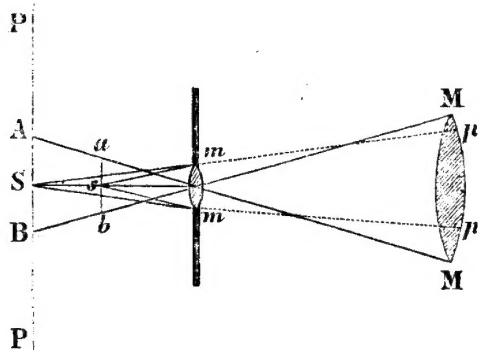


Фиг. 729.

и мѣющаго основаніемъ цѣлый объективъ, а лишь тою частію этого пучка какая проникаетъ чрезъ малое отверстіе и можетъ разсматриваться какъ одинъ лучъ. Предѣлы изображенія означаются линіями *MA* и *MB*. Въмѣсто діафрагмы съ отверстіемъ вообразимъ глазъ наблюдателя. Явленіе въ главныхъ чертахъ останется то же, ибо глазъ можно разсматривать какъ темную камеру, на задней стѣнкѣ которой (то-есть на ретинѣ) рисуется изображеніе образуемое ея переднимъ отверстіемъ. Но изображеніе на ретинѣ будетъ не ясно, ибо пропускающее лучи отверстіе (зрачокъ) велико. Явленіе происходитъ такъ какъ если бы въ которое стекло было вставлено въ расширенное отверстіе *mm* діафрагмы (фиг. 730), но экранъ (ретиная) стоялъ не въ *ad* гдѣ получается отчетливое изображеніе, но ближе къ стеклу. Чтобы изображеніе попало на ретину надлежитъ уменьшить преломляющее дѣйствіе глаза. Этого достигаютъ помѣщая предъ глазомъ разсѣивающій окуляръ. Если предположимъ глазъ приспособленнымъ къ отдаленному разстоянію, то разсѣивающее стекло надлежитъ поставить отъ объектива на разстояніи *F₁ - F₂*, дабы каждый входящій въ глазъ пучокъ состоялъ изъ параллельныхъ между собою лучей.

И такъ ретиная есть плоскость принимающая изображеніе *ab*. Такъ какъ изображеніе это обратное (какъ всѣ изображенія на

рѣтинѣ при зрѣніи простымъ глазомъ), то предметъ представляется въ прямомъ видѣ. Уголъ зрѣнія подѣ какимъ представляет-



Фиг. 730.

ся рисующаяся въ ab часть видимого круга опредѣляется линіями, проведенными отъ центра (фиг. 730) воображаемого стекла mn къ точкамъ a и b , или что все равно, къ точкамъ A и B , и имѣетъ мѣру $\frac{AB}{F_2}$. Уголъ зрѣнія подѣ какимъ та же часть обозрѣваемого пространства представилась бы простому глазу (воображая его въ центрѣ объектива) опредѣляется линіями проведенными (фиг. 729) отъ центра объектива C къ A и B и имѣетъ мѣру $\frac{AB}{F_1}$. Отношеніе этихъ угловъ и есть увеличеніе

$$G = \frac{F_1}{F_2}.$$

Такъ какъ чрезъ трубу обозрѣвается лишь та часть вѣшняго круга изображеніе которой въ фокальной плоскости объектива занимаетъ пространство AB , то величина $\frac{360^\circ}{2\pi} \cdot \frac{AB}{F_1}$

прямо выразитъ собою поле зрѣнія. Но $\frac{AB}{D} = \frac{F_2}{F_1 - F_2}$, гдѣ D диаметръ объектива, $F_1 - F_2$ разстояніе отъ объектива точки гдѣ помѣщается глазъ съ окуляромъ. Отсюда получаемъ выводное уже въ § 277 на стр. 406 выраженіе для поля зрѣнія:

$$\frac{360^\circ}{2\pi} \cdot \frac{D}{F_1 - F_2} \cdot \frac{F_2}{F_1}.$$

Вопросъ о полѣ зрѣнія при перемѣщеніи глаза въ бокъ разрѣшается слѣдующимъ образомъ. Оптическое окно, представляемое мнимымъ изображеніемъ объектива, можетъ считаться не перемѣняющимъ своего мѣста при перемѣщеніи глаза. Но вслѣдствіе своего перемѣщенія, глазъ чрезъ то же окно видитъ разные предметы при разныхъ положеніяхъ. Если глазъ перейдетъ съ одного края окуляра къ другому, то угловое разстояніе предмета видимого въ центрѣ поля зрѣнія въ первомъ случаѣ отъ предмета занимающаго центральную часть во второмъ опредѣлится угломъ опирающимся изъ центра мнимаго изображенія на объектива диаметръ окуляра. Мѣра этого угла есть $\frac{d}{\Delta}$, гдѣ d диаметръ окуляра, $\Delta = \frac{F_2}{F_1} (F_1 - F_2)$. Имѣемъ

$\frac{d}{F_1 - F_2} \cdot \frac{F_1}{F_2}$. Это есть угловое разстояніе между сказанными предметами какъ оно наблюдается чрезъ трубу. Дѣйствительное угловое разстояніе ихъ получится если эту величину раздѣлить на увеличеніе, и будетъ слѣдов. $\frac{d}{F_1 - F_2}$. И такъ

пространство которое труба позволяетъ обозрѣть при перемѣщеніи глаза съ одного края окуляра на другой, или полное поле зрѣнія, опредѣляется угломъ подѣ какимъ окуляръ представляется для наблюдателя изъ центра объектива (подобно какъ въ Кеплеровой трубѣ).

Разсматривая мнимое изображеніе объектива какъ дѣйствительное отверстіе чрезъ которое смотримъ и отъ котораго удаляемся, не трудно разрѣшить вопросъ о полѣ зрѣнія трубки при удаленіи глаза отъ окуляра. Назовемъ буквой δ диаметръ этого мнимаго изображенія служащаго оптическимъ окномъ, Δ его разстояніе отъ окуляра. Когда глазъ при окулярѣ, мѣрою поля зрѣнія служитъ величина $\frac{\delta}{\Delta}$. Когда глазъ находится на разстояніи z отъ окуляра, мѣрою поля зрѣнія будетъ величина $\frac{\delta}{\Delta + z}$. Но $\frac{\delta}{\Delta + z} = \frac{\delta}{\Delta} \cdot \frac{\Delta}{\Delta + z}$. Потому чтобы получить, зная поле зрѣнія когда глазъ при окулярѣ, величину поля зрѣнія когда глазъ на разстояніи z , надо величину поля зрѣнія въ первомъ

случае помножить на $\frac{\Delta}{\Delta + z}$. Такъ какъ $\Delta = \frac{F_2}{F_1} (F_1 - F_2)$,
 $\frac{\delta}{\Delta} = \frac{D}{F_1 - F_2} \cdot \frac{F_2}{F_1}$, гдѣ D отверстіе объектива, то поле зрѣнія
 для удаляющагося глаза будетъ имѣть мѣрою

$$\frac{DF_2^2}{F_1^2 z + F_1 F_2 (F_1 - F_2)}$$

Примѣчаніе. Во всѣхъ предыдущихъ разсужденіяхъ какъ и въ §§ 277 и 278 курса мы пренебрегали вліяніемъ величины зрачка, такъ какъ оно при наблюденіи полнымъ объективомъ вообще незначительно и кромѣ того обнаруживается въ области неяснаго зрѣнія. Теоретически не трудно опредѣлить это вліяніе на основаніи слѣдующихъ соображеній. Когда мы смотримъ черезъ какое-либо отверстіе, то обозрѣваемое нами заразъ поле зрѣнія не ограничено строго прямыми линиями проведенными отъ вершины глаза какъ центра къ краямъ отверстія. Глазъ видитъ нѣсколько и за краями отверстія. По этой причинѣ угловая величина поля зрѣнія съ каждой стороны отверстія увеличивается угломъ опирающимся на половину отверстія зрачка и имѣющимъ вершину при краѣ или (что все равно въ этомъ случаѣ) при центрѣ отверстія. Въ случаѣ Галилеевой трубки отверстію соответствуетъ мнимое изображеніе объектива. Расстояніе этого изображенія отъ глаза (помѣщеннаго при окулярѣ) равно

$\frac{F_2(F_1 - F_2)}{F_1}$ или $\frac{F_1 - F_2}{G}$, гдѣ G увеличеніе. Если α есть діаметръ зрачка, то мѣрою упомянутаго угла, взятаго вдвойнѣ, будетъ величина $\frac{\alpha \cdot G}{F_1 - F_2}$. Но каждая угловая величина обозрѣваемая черезъ трубу соответствуетъ въ дѣйствительности углу въ G разъ меньшему. Слѣдовательно, истинное выраженіе, для величины на какую расширяется поле зрѣнія благодаря тому что зрачокъ имѣетъ замѣтный діаметръ α , получится черезъ раздѣленіе полученной величины на G . Будемъ имѣть

$\frac{\alpha}{F_1 - F_2}$. Слѣдов. поле зрѣнія отъ вліянія величины зрачка должно увеличиться на уголъ $\frac{360^\circ}{2\pi} \cdot \frac{\alpha}{F_1 - F_2}$.

Связь между полемъ зрѣнія и увеличеніемъ Галилеевой трубки даетъ весьма простое средство для приблизительнаго опредѣленія этого послѣдняго. Стоитъ простымъ глазомъ посмотреть черезъ отверстіе котораго видимая величина равняется

видимой величины свѣтлаго круга какимъ ограничено поле зрѣнія, и сравнить обозрѣваемое пространство съ тѣмъ какое видимъ черезъ трубу. (Сравнить, напримѣръ, число оконъ зданія видимыхъ черезъ отверстіе съ числомъ видимыхъ черезъ трубу). Чтобы получить отверстіе равной видимой величины съ свѣтлымъ кругомъ трубки, можно или просто снять окуляръ и объективъ, и оставивъ глазъ на прежнемъ мѣстѣ, посмотреть черезъ пустое отверстіе трубки, или прибѣгнуть къ какому-либо болѣе точному оптическому приему.

На томъ же началѣ можно основать опредѣленіе увеличенія и астрономической трубки. Пусть окуляръ есть сложный, негативный. Въ такомъ случаѣ зрительное окно есть отверстіе діафрагмы помѣщаемой между двумя стеклами окуляра. На отверстіе это, приблизительно соответствующее отверстію втораго стекла окуляра, мы смотримъ черезъ первое его стекло, ближайшее къ глазу. Если, отнявъ окуляръ отъ трубы и снявъ его стекла, посмотримъ черезъ его пустую трубочку на внѣшніе предметы (помѣщая глазъ по отношенію къ этой трубочкѣ въ той самой точкѣ гдѣ онъ бываетъ когда окуляръ снабженъ стеклами и служитъ для наблюденія) и сравнимъ обозрѣваемую такимъ образомъ часть круга внѣшнихъ предметовъ съ тою, въ нѣсколько разъ меньшую частію, какую обозрѣваемъ помощью этого окуляра заразъ черезъ трубу, то ихъ отношеніе дастъ увеличеніе. Опредѣленіе увеличенія можно сдѣлать значительно болѣе точнымъ, если, глядя черезъ трубу, наблюдать въ то же время свободнымъ глазомъ или тѣмъ же самымъ (не трудно придумать оптическіе приемы для осуществленія такого совмѣстнаго наблюденія) діафрагму съ круглымъ отверстіемъ, приближаемую до тѣхъ поръ пока ея отверстіе представится той же угловой величины какъ зрительное окно трубы. Сравнительное наблюденіе тѣхъ же предметовъ черезъ отверстіе и черезъ трубу безъ труда поведетъ къ опредѣленію увеличенія. Метода, въ нѣсколько измѣненномъ видѣ, можетъ быть приложима и къ микроскопу.

ЗАМѢЧЕННЫЯ ПОГРѢШНОСТИ.

Страница.	Строка.	Напечатано:	Должно читать.
32	3 снизу	въ 1643 году	въ 1543 году
71	3 снизу	теряеть столько сколько	теряеть вѣса столько сколько
76	5 —	этотъ вѣсъ на вѣсъ тѣла	на этотъ вѣсъ вѣсъ тѣла
146 и 264		Коньяръ де Латуръ	Каньяръ де Латуръ
170	4 —	<i>ut</i>	<i>ut</i> ,
205	9—	слѣдуетъ исключить слова: „и на- ходится, вѣроятно, въ расплавлен- номъ состояніи“	
224	3 и 4 снизу	$\frac{1}{23}$	$\frac{1}{273}$
261	12 сверху	Донни	Дюфуръ
262	16 снизу	увеличивается	уменьшается
285		фиг. 261 поставлена верхъ ногами	
290	13 сверху	Черезъ нѣсколько лѣтъ Деви	Черезъ годъ Деви
323	6 сверху	$\frac{MM}{d}$	$\frac{b\ m}{f}$
498		склоненіе въ Москвѣ по болѣе новымъ наблюденіямъ	1°7' къ В.
641	3 сверху	2.268.1000	2.268.000
737	13 —	$i=i'=i''$	$i=i'+i''$